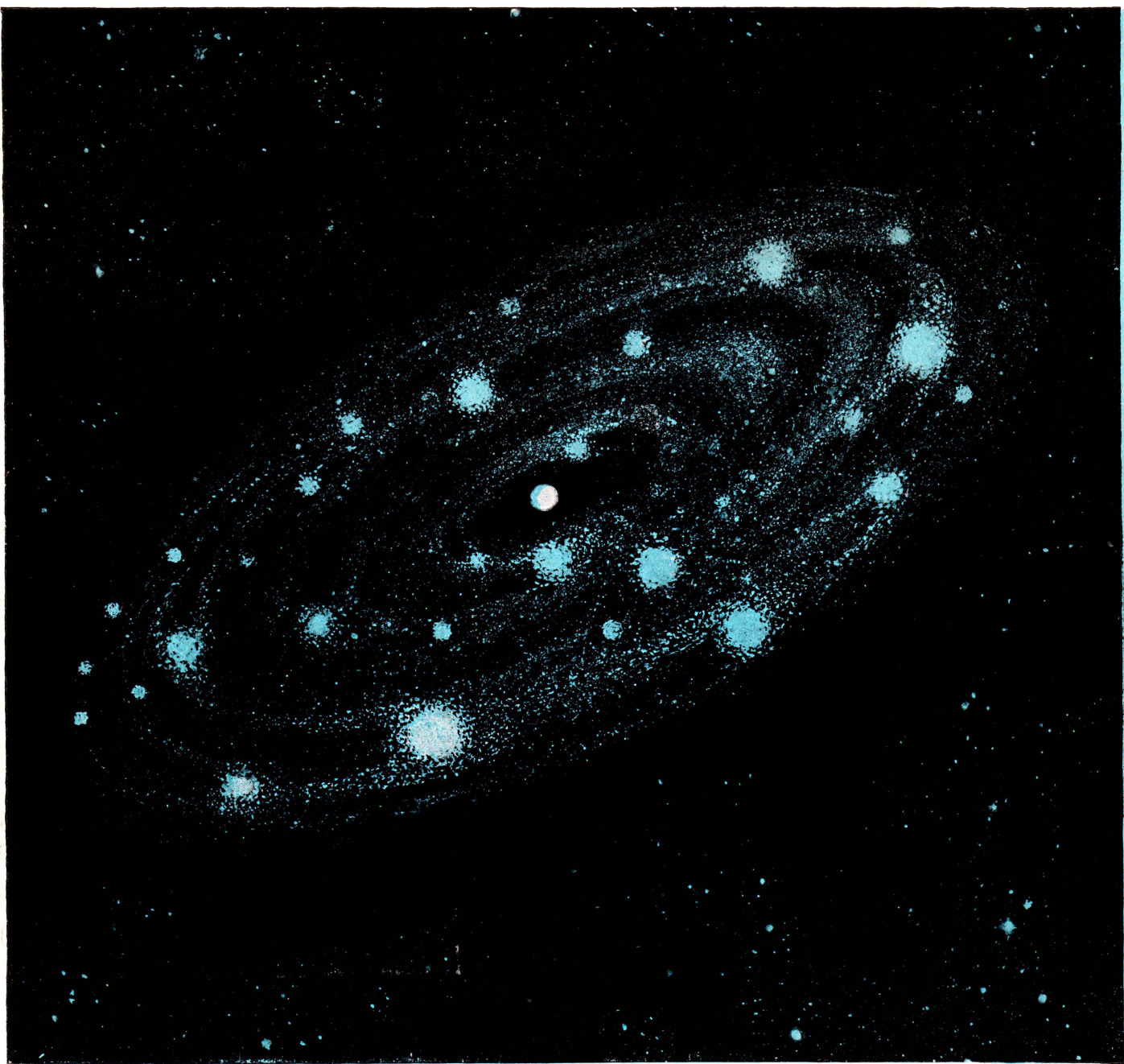




ЗЕМЛЯ и ВСЕЛЕННАЯ

1967

АСТРОНОМИЯ

ГЕОФИЗИКА

ИССЛЕДОВАНИЯ

КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА



Новая выдающаяся победа советской науки и техники

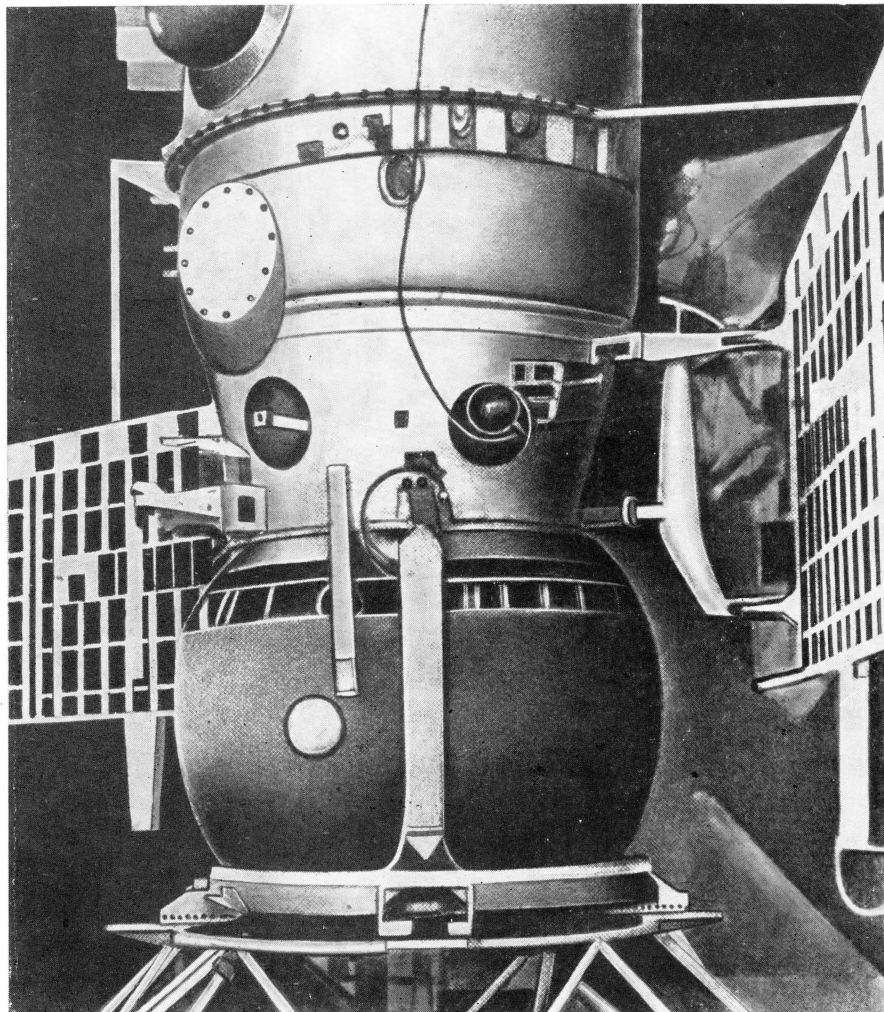
18 октября 1967 г. советская автоматическая станция «Венера-4», пройдя расстояние около 350 млн. км, достигла планеты Венера.

В течение четырехмесячного полета станция позволила получить новые многочисленные данные о физических свойствах космического пространства.

При подлете к планете Венера станция зафиксировала отсутствие заметного магнитного поля и радиационных поясов планеты. Обнаружена слабая водородная корона.

18 октября 1967 г. в 7 часов 34 минуты московского времени автоматическая станция «Венера-4» вошла со второй космической скоростью в атмосферу Венеры и от станции отделился спускаемый аппарат — научная лаборатория. После аэродинамического торможения спускаемого аппарата в атмосфере планеты автоматически сработала специальная парашютная система, и он продолжал плавное снижение в атмосфере Венеры.

Научные приборы спускаемого аппарата проводили непрерывные устойчивые измерения и передачу на Землю параметров атмосферы Венеры в течение полутора часов на протяжении 25 км. Аппарат опустился на поверхность планеты, доставив второй вымпел с изображением Герба Союза Советских Социалистических Республик.



Советская автоматическая станция «Венера-4»

Фото П. Барашева
(фотохроника ТАСС)

Прозвонились замеры давления, плотности, температуры и химического состава атмосферы Венеры.

На протяжении участка измерений температура атмосферы изменялась от 40 до 280°С, атмосферное давление — от 1 до величины порядка 15 атм. Измерения показали, что атмосфера Венеры почти полностью состоит из уг-

лекислого газа; кислород и пары воды составляют около полутора процентов; заметных следов азота не обнаружено.

Научные исследования, выполненные советской автоматической межпланетной станцией «Венера-4», — новая выдающаяся победа советской науки и техники, важнейший этап в исследовании планет солнечной системы.

ЗЕМЛЯ и ВСЕЛЕННАЯ

Научно-популярный журнал

Академии наук СССР

Основан в 1965 году

Выходит 6 раз в год



НОЯБРЬ—ДЕКАБРЬ

6

1967

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА

В НОМЕРЕ

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

М. А. Садовский — Наука будет предсказывать землетрясения	3
Ю. В. Ризниченко — Сейсмический климат и сейсмическая погода	4
С. В. Медведев — Землетрясения должны перестать быть стихийным бедствием	8
Г. Н. Петрова — Связь сейсмических процессов с магнитным полем Земли	13
Ю. Г. Леонов — Сейсмотектонические процессы	16
В. И. Мячкин — О прогнозе времени возникновения землетрясений по сейсмическим данным	19

В. В. Соболев — Физика звезд	23
Я. Л. Альперт — Низкочастотные волны около Земли и в Космосе	31
П. Г. Куликовский — Из истории советской астрономии (1950—1967). Хроника. Фотодокументы	42
Б. Ю. Левин — Вопросы планетной космогонии наших дней	49
Ю. А. Сурков — Новое о лунном веществе	57
Г. М. Никольский — Внезатменные наблюдения солнечной короны и большой советский коронограф	66

ПО ОБСЕРВАТОРИЯМ И ИНСТИТУТАМ

А. Н. Дадаев — Советское Пулково	71
--	----

СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

Б. И. Силкин — Участники Года спокойного Солнца подводят итоги	79
И. А. Резанов — Международный проект «Верхняя мантия»	82

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

А. Д. Марленский, В. Ф. Заболотный — Астрономические наблюдения в январе—феврале 1968 года	85
М. М. Шемякин — Работа с самодельным телескопом	87

ЛЮДИ НАУКИ

Александр Игнатьевич Лебединский	91
Тематический указатель статей	94

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Комета ... под землей! [22]; Подводный метеоритный кратер [22]; Существуют ли «радиозвезды»? [30]; 42-й рейс «Витязя» [30]; Модель атмосферы Юпитера [55]; Первый рейс научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» [55]; Экспедиция в Индийский океан «Академика Курчатова» и «Витязя» [56]; Инфракрасные изображения Луны [63]; Топографический план места посадки «Луны-9» [64]; Новая выдающаяся победа советской науки и техники [2-я стр. обложки]; XIII генеральная ассамблея Международного астрономического союза [3-я стр. обложки].

На обложке: 1-я стр.—Схематическое изображение одного из этапов аккумуляции планет по О. Ю. Шмидту (к статье Б. Ю. Левина); 4-я стр.—Созвездие Андромеды и интересные объекты в нем (к статье А. Д. Марленского и В. Ф. Заболотного).

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ

Сейсмичность и возможности прогнозирования землетрясений — тема одной из бесед по актуальным проблемам науки, которая состоялась в Центральной лектории Всесоюзного общества «Знание». На этот раз перед собравшимися выступили ученые Института физики Земли Академии наук СССР. Публикуемые ниже материалы познакомят наших читателей с содержанием выступлений участников беседы.



Участники беседы (слева направо): В. И. Мячкин, Ю. Г. Леонов, М. А. Садовский, Г. Н. Петрова, С. В. Медведев, Ю. В. Ризниченко

Фото Н. Плахова

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

НАУКА БУДЕТ ПРЕДСКАЗЫВАТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

*М. А. САДОВСКИЙ,
академик*



Мы хотим рассказать о сейсмичности и возможности предсказания землетрясений.

В течение 100 лет от землетрясений погибло около 1 млн. человек. Во время некоторых сильных землетрясений человеческие жертвы были огромны. Например, при землетрясении в Токио в 1923 г. погибло около 100 000 человек.

Поэтому задача, которой мы занимаемся,— задача разработки методов прогнозирования землетрясений — является очень важной комплексной проблемой, имеющей геофизические и геологические аспекты.

Несмотря на успехи науки, о которых особо говорится в статьях, входящих в данную подборку, мы до сих пор не умеем предсказать момент, когда землетрясение произойдет. Со временем проблема становится все более актуальной: население растет; всюду, в том числе и в сейсмически опасных зонах, возникают новые города, промышленные предприятия.

До сих пор сейсмологи занимаются, главным образом, вопросами распространения упругих волн и очень мало — изучением самого очага землетрясения и процессов, в нем происходящих. Конечно, это делается не по злой воле сейсмологов, а объясняется свойствами самого явления: очаги землетрясений скрыты очень глубоко. Самые близкие из них располагаются на глубине

примерно 10 км, а большая часть — на глубинах 20—40 км. Пока не существует технических возможностей проникать на такую глубину, и прямое изучение очага сейчас невозможно.

Условия на глубинах, где располагаются очаги землетрясений, отличаются многими особенностями. Там господствуют большие давления (тысячи и десятки тысяч атмосфер), высокие температуры, и вещество земных недр приобретает необычные свойства. Правда, мы уже умеем в лабораториях создавать высокие давления и температуры, но это только начало. И, вероятно, наука о землетрясениях пройдет еще долгий путь, прежде чем мы получим возможность представить себе достаточно ясно, что происходит в очагах землетрясений, и понять, чем они вызываются. Конечно, этот путь обязательно будет пройден.

Опасность землетрясений толкает нас к тому, чтобы попытаться подойти к вопросу предсказания землетрясений как бы окольными путями.

Можно предполагать, что всякое землетрясение предваряется какими-то признаками — предвестниками. Важно найти эти предвестники. Сразу после землетрясения в Ашхабаде академик Г. А. Гамбурцев организовал очень серьезную работу по поискам предвестников. Эти исследования сыграли огромную роль: именно с них началось систематическое изучение сейсмиче-

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ

ского процесса, они стимулировали развитие новой техники наблюдения землетрясений.

Для отыскания предвестников мы должны изучить достаточное количество землетрясений, и очень важно, чтобы в эту трудоемкую работу включились многие организации и предприятия, заинтересованные в развитии сейсмологических исследований.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ КЛИМАТ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА

Ю. В. РИЗНИЧЕНКО,
член-корреспондент АН СССР

Еще лет 30—40 назад господствовало представление о том, что Земля внутри вся огненно-жидкая и под тонкой твердой земной корой бушует океан расплавленной магмы. Когда разбушевавшаяся магма начинает «толкаться» в земную кору, тут-то и возникает землетрясение. Бытовало и другое мнение: внутри Земли имеются большие пещеры и когда свод такой пещеры проваливается — происходит землетрясение. Пещера может быть заполнена лавой. Если в нее попадает вода, то такой естественный паровой котел взрывается и возникают землетрясение и вулкан.

Связь землетрясений с вулканами очень характерна для воззрений тех времен. Это представление широко освещалось в научно-популярной литературе и проникло в научную фантастику. Может быть, не стоило и говорить об этих старых воззрениях, если бы они не оживали при каждом землетрясении, привлекающем внимание широких слоев населения.



Что же происходит в действительности?

Сейчас хорошо известно, что Земля наша в основном твердая до глубины около 3000 км. Очаги землетрясений возникают в большинстве случаев в земной коре, толщина которой составляет на континентах в среднем 40 км, а под океанами 6 км. На территории нашей страны только на Дальнем Востоке встречаются очаги в верхней мантии Земли на глубине до 600—800 км. Однако и отсюда до жидкого земного ядра, которое начинается на глубине около 3000 км, еще очень далеко. Таким образом, наша Земля не может «треснуть» до той глубины, где она действительно сплошь огненно-жидкая.

Правда, под вулканами встречаются ограниченные области в пределах твердой зоны Земли, заполненные расплавленным,

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

жидким веществом. При извержении вулкана оно и прорывается наружу. Но это имеет мало отношения к землетрясениям, по крайней мере к наиболее частым и наиболее опасным из них — так называемым тектоническим, т. е. «горообразовательным» землетрясениям.

Действующие вулканы известны в Советском Союзе только на Дальнем Востоке: на Камчатке и Курильских островах. Они вызывают лишь слабые местные землетрясения. Между тем сильные землетрясения происходят вдоль всей гористой южной границы нашей страны и в ряде других ее областей.

Таким образом, связь землетрясений с вулканами не характерна. Землетрясения надо связывать с какими-то более общими причинами, чем вулканы, а именно с **горообразовательными, тектоническими** процессами. Вместо дуэта «вулканы и землетрясения», о котором говорили наши деды, правильнее было бы говорить о дуэте «горы и землетрясения».

Каков же источник энергии в горообразовательных процессах?

Подобно тому, как Земля освещается и обогревается снаружи термоядерным котлом — Солнцем, изнутри она обогревается другим ядерным котлом — энергией радиоактивного распада некоторых составных частей горных пород. К счастью, радиоактивных составляющих в Земле мало, да и энергия распада гораздо меньше, чем энергия слияния при термоядерных реакциях, и потому внутриземной котел несравненно менее активен, чем солнечный. Но все же на землетрясения его энергии хватает.

Нагретые внутренним теплом части Земли расширяются и стремятся всплыть. Это дается с трудом. Частично перемешивание материала Земли происходит за счет текучести (например, пластичности) твердого вещества без заметных разрывов, подобно тому как иногда течет лед в ледниках. Но частично, особенно при более быстром тектоническом движении, разрывы все же происходят. Это и вызывает землетрясения.

На рис. 1 показано, что происходит при этом в очаге землетрясения. Здесь изображена элементарная ячейка области, где

происходит относительное перемещение горных масс. Под действием сил, вызывающих тектонические течения, в материале Земли возникают упругие напряжения, противодействующие сдвигу и изгибанию слоев. Когда материал не выдерживает напряжений и рвется, упругие деформации в них частично снимаются, слои вновь распрямляются. Разрыв происходит путем среза или скола, без образования зияющих трещин под землей. Накопившаяся перед разрывом упругая энергия переходит в энергию упругих сейсмических волн, которые распространяются от очага в разные стороны. Это очень похоже на то, что происходит, если бросить камень в воду. Энергия падения камня переходит в энергию волн, расходящихся кругами по поверхности воды от места его падения.

Сам разрыв чаще всего остается на глубине, не выходит на поверхность Земли. Лишь при очень больших землетрясениях земная кора раскалывается насквозь. Такие разрывы могут разламывать здания и растаскивать их части в разные стороны. Гораздо чаще здания разрушаются от толчков, вызываемых приходом упругих сейсмических волн, которые преодолевают большие расстояния, обычно в несколько километров или десятков километров от разрыва — очага землетрясения.

Землетрясения, являясь частными проявлениями горообразовательного процесса, тектонических и сейсмических течений горных масс, никогда не происходят в одиночку. В любом сейсмически опасном районе мы встречаемся с множеством землетрясений, больших и малых, которые происходят здесь на протяжении продолжительно-

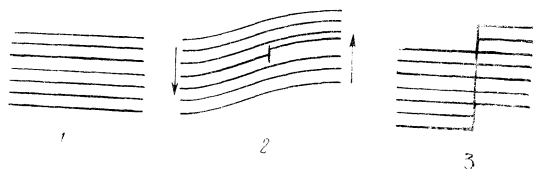


Рис. 1. Последовательные стадии процесса в очаге землетрясения: 1 — ненарушенное состояние, 2 — упругие деформации, накопление упругой энергии (в середине показан начавшийся разрыв), 3 — разрыв произошел, слои распрямились, упругая деформация исчезла; ее энергия перешла в энергию землетрясения

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ

го времени и образуют все вместе то, что называют сейсмическим режимом области.

На рис. 2 показана схема такого процесса. Землетрясения разной величины, вспыхивая то тут, то там, заполняют определенную область пространства, где происходит сейсмическое течение. Были проделаны расчеты, которые позволили установить количественную связь между показателями очаговой сейсмичности и скоростью деформаций в Земле, с которой происходит течение. Наличие таких связей позволяет изучать сейсмичность также с привлечением повторных геодезических измерений и количественных геологических данных, вскрывающих современные движения Земли.

Современные сейсмические исследования и исторические документы свидетельствуют о том, что землетрясения возникают приблизительно в одних и тех же областях, хотя и не обязательно в одних и тех же местах, на протяжении ряда столетий или тысячелетий. Это связано с тем, что горообразовательные процессы «живут» в совсем другом масштабе времени, чем живем мы, люди. Это позволяет говорить о приближенно

постоянной на протяжении нескольких поколений средней сейсмичности областей, об относительном постоянстве **сейсмического климата на Земле**.

Инструментальные исследования сейсмических режимов районов позволили установить еще одну очень важную особенность сейсмических процессов. Она состоит в следующем.

Землетрясения у нас под ногами — как звезды на небе: чем они больше, тем их меньше. Только считать землетрясения приходится не раз навсегда, как звезды на небе, а за определенный промежуток времени, скажем за год, т. е. говорить о средней частоте их повторения. Поэтому и говорят о законе «повторяемости» землетрясений.

На рис. 3 этот закон показан графически. В определенной системе координат он выражается практически прямой линией. В последнее время этот закон начинает все шире

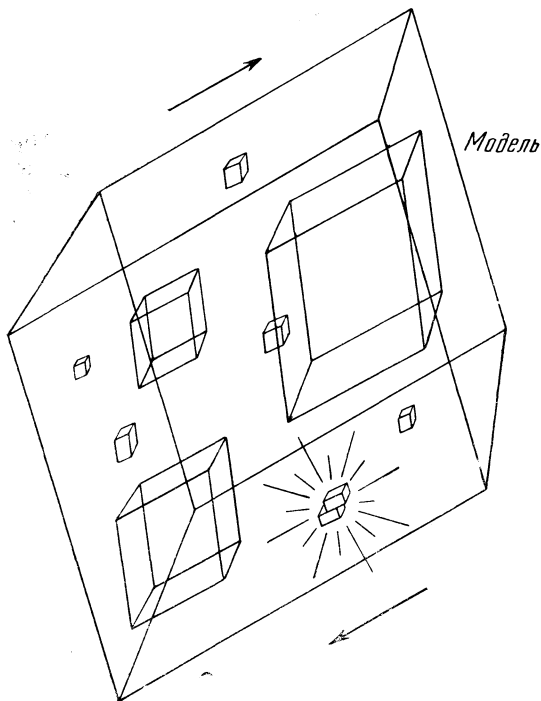
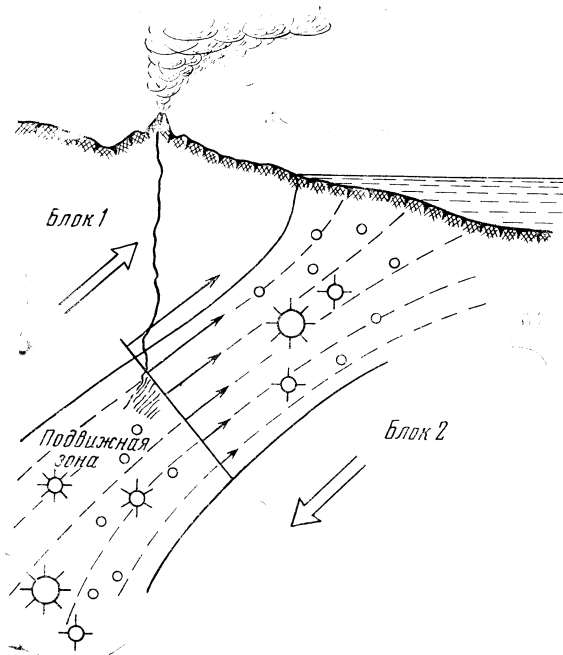


Рис. 2. Сейсмическое течение горных масс. Слева — процесс в природе; справа — его расчетная модель

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

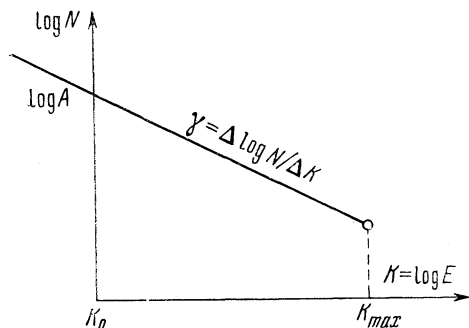


Рис. 3. Закон повторяемости землетрясений. N — число землетрясений в единице объема (или на единицу площади) в единицу времени, A — сейсмическая активность, E — сейсмическая энергия очага, γ — наклон графика повторяемости землетрясений; его постоянство характеризует автомодельность сейсмического процесса

использоваться нашими сейсмологами при детальном количественном изучении сейсмичности районов и при расчете степени сейсмической опасности территорий.

Прямолинейность зависимости между логарифмами числа землетрясений N и величиной сейсмической энергии их очагов E выражает внутреннее подобие сейсмических явлений разных масштабов — автомодельность землетрясений в отношении их энергии. Эта закономерность сейсмических режимов имеет, конечно, статистический характер — она оправдывается только в среднем для достаточно больших территорий и больших промежутков времени.

Рассмотрим теперь два главных аспекта сейсмической опасности. Первый касается суждений о степени сейсмической опасности территорий как бы независимо от времени. Это — вопрос о **сейсмическом климате**. Второй аспект касается суждений об опасности возникновения каждого отдельного землетрясения, о его времени, месте и силе. Это — вопрос о **сейсмической погоде** и о возможности ее предсказания. Надо подчеркнуть, что оба эти вопроса имеют свой особый смысл. Решение одного из них не дает

решения другого. И еще неясно, какой из них важнее практически. Важны оба — каждый со своей стороны.

Вначале остановимся на вопросе о **сейсмическом климате**. Это имеет прямое отношение к строительству жилых домов, промышленных зданий, транспортных и гидротехнических сооружений. Люди гибнут при землетрясениях в основном вследствие разрушения домов, а не от сейсмических толчков. Дома строятся на многие годы, нередко на века. При этом должен учитываться именно сейсмический климат, включающий в себя все превратности сейсмической погоды в данном месте. Простейший способ учета степени сейсмической опасности состоит в указании максимально возможного сотрясения в каждом данном месте. Можно думать, что если дом не развалится от максимального толчка, то ему не повредят и более слабые. Но это не совсем так. Ведь дом может быть не полностью разрушен каким-нибудь одним землетрясением, а пострадать лишь частично. Тогда и более слабые последующие землетрясения могут оказаться для него гибельными.

По этой и по ряду других причин для достаточно полного уяснения степени сейсмической опасности полезно было бы знать не только, какое максимальное землетрясение здесь возможно, но и то, как часто оно может, в среднем, здесь повторяться, например, раз в 50 лет, раз в 5000 лет и т. д. И это хотелось бы знать не только о максимальном землетрясении, но и о более слабых, все же быть может, не менее опасных для сооружений.

Решением этих вопросов и занимается разрабатываемая у нас сейчас теория сейсмической **сотрясаемости**. Ясно, что в основу ее могут быть положены те сведения о зависимости частоты возникновения землетрясений от их величины в очаге, о которой уже упоминалось, — закон повторяемости землетрясений. Эти соображения, касающиеся пространственно-временного распределения очаговой сейсмической активности, должны быть дополнены сведениями о затухании сейсмического эффекта на пути от очага до интересующей нас точки на земной поверхности.

Принятая сейчас система определения степени сейсмической опасности территорий — сейсмическое районирование — основана на соображениях только о максималь-

но возможных землетрясениях. Возможная частота возникновения разрушительных землетрясений при этом не учитывается. Но можно ожидать, что в близком будущем придется обратиться к более полному учету степени сейсмической опасности, основанному на соображениях теории сотрясаемости.

Кроме того, оценку «силы» сейсмических толчков, которая производится сейчас при сейсморайонировании в условных единицах «сейсмической балльности», определяемых из описаний последствий стихийного бедствия, следует заменить более объективной. Новая оценка должна быть основана на инструментальных количественных данных о сотрясениях, таких, например, как максимальные ускорения определенной частоты.

Все эти новые веяния в сейсмологии — частные проявления той общей тенденции к широкому использованию физических и математических методов, которая свой-

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ

ственна сейчас и другим наукам о Земле, да и не только этим наукам.

В заключение несколько слов о проблеме **сейсмической погоды, о возможностях прогноза землетрясений.** В то время как в проблеме сейсморайонирования речь идет сейчас только о совершенствовании существующих решений, в проблеме прогноза землетрясений ведутся еще лишь поиски путей возможного решения. Сейчас уже намечен ряд перспективных направлений в этом отношении. Одно из них — изучение особенностей сейсмического режима землетрясений. Другое — изучение изменений упругих и неупругих механических свойств горных пород. Третье — изучение современных движений земной коры, ее деформаций и наклон.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ДОЛЖНЫ ПЕРЕСТАТЬ БЫТЬ СТИХИЙНЫМ БЕДСТВИЕМ

*С. В. МЕДВЕДЕВ,
профессор*

Если попытаться коротко сформулировать суть практической задачи сейсмологии, то можно сказать, что главным является достижение такого состояния, при котором землетрясения перестанут быть стихийным бедствием. Это значит, что мы должны научиться защищать от гибели и людей, и сооружения. Оказывается для того, чтобы достичь и того, и другого, требуется проведение разных работ. Чтобы люди были предупреждены и спасены, надо вовремя пред-



сказать момент возникновения катастрофического землетрясения и этим защитить их. Чтобы не разрушались сооружения, надо уметь предсказать наибольшие воздействия, которым могут подвергнуться эти сооружения за весь срок их существования, т. е. дать долгосрочный прогноз максимальных землетрясений.

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Землетрясения происходят не так уж часто, если говорить о пользе для развития сейсмологии, и очень часто, если говорить о вреде для людей и для сооружений. В год на земном шаре происходят три десятибалльных землетрясения, десять — 9-балльных, около ста 8-балльных и т. д. На территории Советского Союза за последние 50 лет произошло десять 9-балльных и около пятидесяти 8-балльных землетрясений.

Землетрясение, которое произошло в Ташкенте в апреле 1966 г., было не очень сильным, если говорить с позиций сейсмологов. Таких землетрясений в год на земном шаре происходит более 300, т. е. они бывают почти ежедневно. Несчастье для Ташкента заключается в том, что очаг землетрясения оказался точно под центром города. Это и вызвало такие серьезные последствия и большие разрушения (рис. 1).

Для того, чтобы предсказать возможные максимальные сейсмические воздействия на сооружения, требуется решить три задачи. Во-первых, нужно провести сейсмическое районирование всей страны, т. е. выделить на ее территории районы, которые различаются по сейсмической опасности. Во-вторых, выполнить микрорайонирование, т. е. дифференцировать сейсмическую опасность в пределах города, и, в-третьих, решить задачу о сейсмической шкале, т. е. количественно выразить колебания почвы. Рассмотрим эти задачи подробнее.

На рис. 2 показана карта сейсмического районирования. Она составлена в Институте физики Земли АН СССР и указывает основной фон сейсмической опасности того или иного района в СССР. Самой плотной штриховкой отмечены небольшие площади 10-балльных сотрясений в районах Прибайкалья и Камчатки; менее плотной — районы 9-балльных; косой штриховкой и точками — соответственно 8- и 7-балльных землетрясений. Около 20% всей территории Советского Союза относится к сейсмически опасным районам. Здесь проживает около 40 миллионов человек.

Проблема предсказания сейсмических воздействий на сооружения является большой и важной экономической проблемой. Защита сооружений связана со значитель-

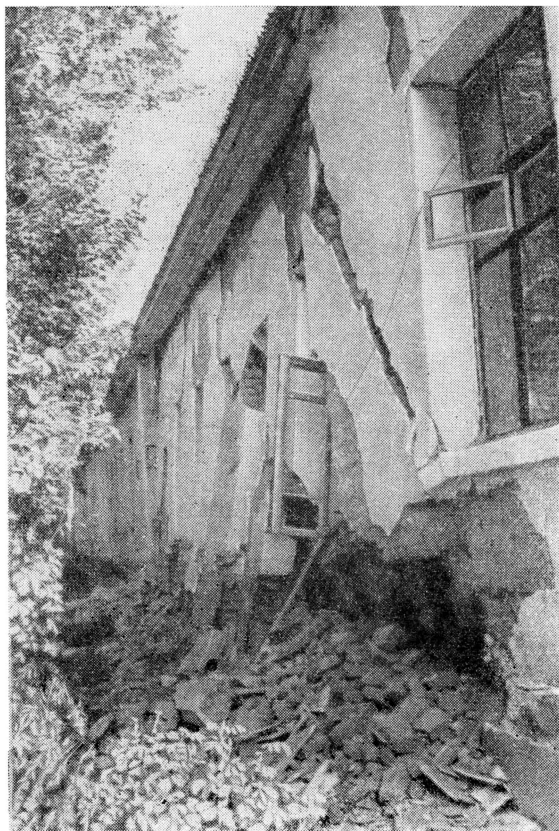


Рис. 1. Жилой дом, поврежденный при землетрясении 26 апреля 1966 г. в Ташкенте

ными добавочными капиталовложениями. Дополнительные затраты на строительство в сейсмических районах составляют: при сейсмичности 9 баллов около 12%, при 8 баллах около 8% и при 7 баллах около 4% от стоимости возводимых там сооружений. Общая сумма дополнительных затрат на антисейсмическое строительство в нашей стране составляет приблизительно 100 млн. руб. в год.

Нужно отметить, что в каждом данном пункте сейсмического района ожидаемая повторяемость сильных землетрясений сравнительно невелика. Так, например, для какого-либо пункта в районе 9 баллов возможно возникновение такого землетрясения в среднем 1 раз в 1200 лет; для 8-балльной зоны землетрясение происходит в одном пункте 1 раз в 800 лет и для 7-балльной — 1 раз в 300 лет. Казалось бы цифры эти

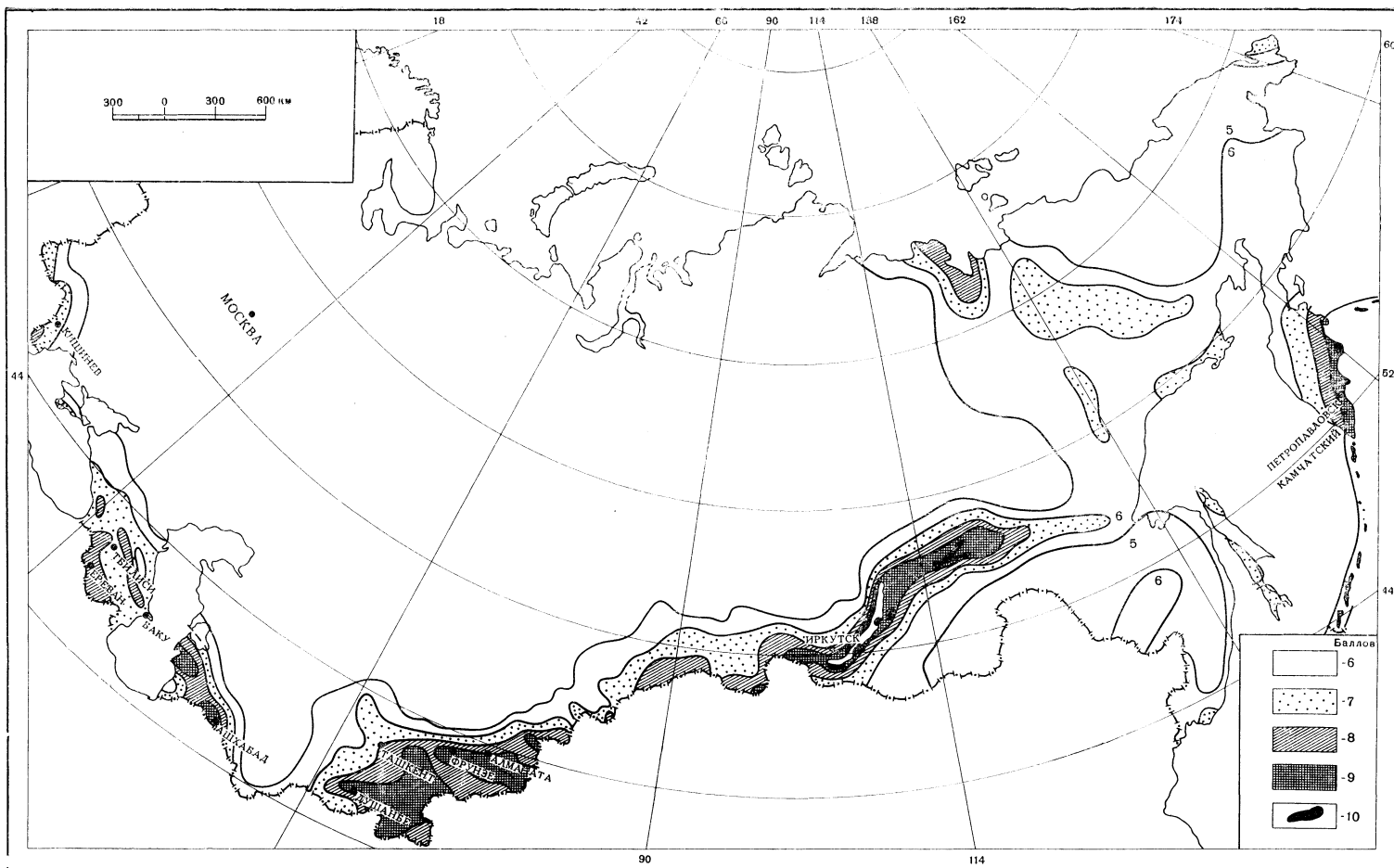


Рис. 2. Карта сейсмического районирования территории СССР

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

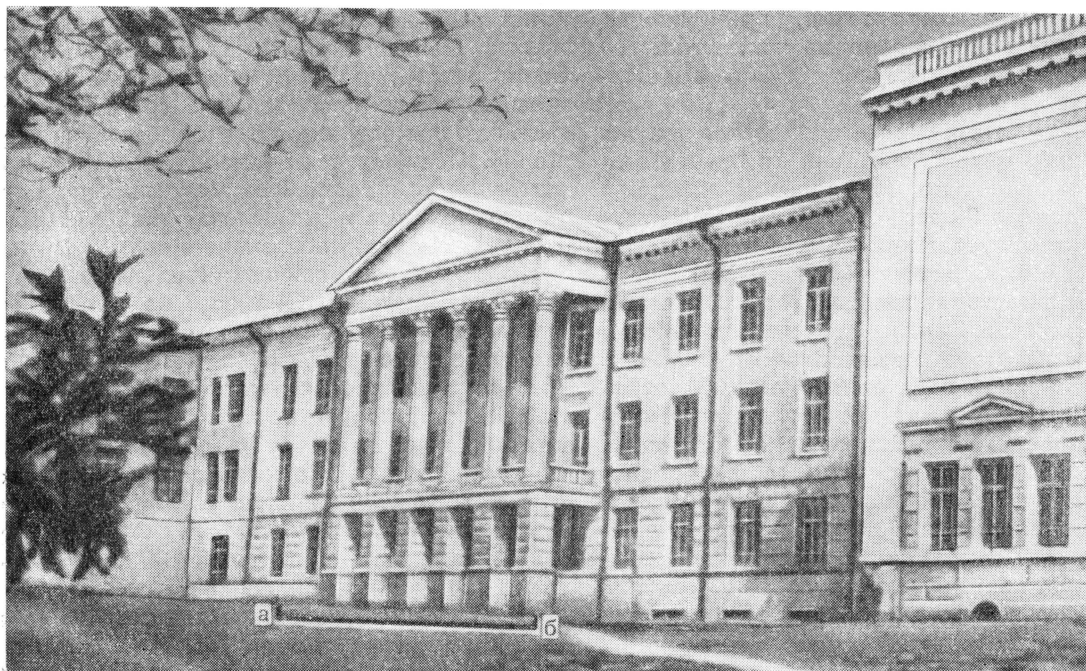


Рис. 3. Здание Педагогического института в Ашхабаде до землетрясения



Рис. 4. Обвалившееся 6 октября 1948 г. здание Педагогического института. Линия а—б соответствует проведенной на рис. 3

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ

указывают на довольно длительные интервалы между землетрясениями. Но в общем итоге — это серьезная опасность: мы знаем, что землетрясения в целом в СССР происходят довольно часто. Самое сильное (9-балльное) землетрясение, причинившее наибольший урон стране за последние годы, произошло 6 октября 1948 г. в Ашхабаде (рис. 3 и 4).

Сила землетрясения оценивается двумя величинами: интенсивностью, которая выражается в баллах по 12-балльной шкале, и магнитудой по 9-градусной шкале. Магнитуда характеризует энергию очага землетрясения (в Ашхабадском — она равнялась 7), а интенсивность характеризует сотрясение на поверхности Земли. Зависимость между этими величинами неоднозначна: она связана с глубиной залегания очага землетрясения. Чем больше глубина очага, тем слабее будет землетрясение на поверхности.

Зная общий фон сейсмической опасности, определяемый картой сейсмического районирования, очень важно оценить изменение этого фона за счет особенностей грунтов. Оказывается, что грунтовые условия весьма сильно трансформируют сейсмические колебания, которые проходят от очага к данному пункту. Если грунты плотные, скальные, гравелистые, без больших разломов или трещиноватостей, то интенсивность землетрясения в этих условиях оказывается меньшей. В тех случаях, когда грунт рыхлый или водонасыщенный, она увеличивается. Разница в интенсивности землетрясения может достигать 2—3 баллов. Таким образом, уточнения для разных городов и стройплощадок к карте сейсмического районирования на основании особенностей грунтовых условий — это вторая задача. Чтобы решить задачу микро-районирования, приходится проводить специальные наблюдения аппаратурой для оценки сейсмических свойств грунтов и учета этих свойств.

Третья задача в проблеме прогноза сейсмических воздействий — правильная региональная характеристика особенностей сейсмических

колебаний, которые можно ожидать в этом пункте. Дело в том, что сейсмические колебания опасны для сооружений лишь только потому, что их спектральный состав близок к спектральному составу колебаний сооружений. Поэтому определение спектральных особенностей сейсмических колебаний для разных пунктов и разных грунтовых условий имеет весьма важное значение.

Эти три задачи сейчас решены лишь в первом приближении. Они еще не удовлетворяют всех запросов практики. В дальнейшем требуется весьма тщательное уточнение детальных сейсмических сведений для разных районов и городов. Конечно, это важно для больших городов, в особенности для столиц союзных республик, которые находятся в районах высокой сейсмичности (Алма-Ата, Ашхабад, Фрунзе, Душанбе — в районе 9-балльной, Ташкент — в районе 8-балльной сейсмичности).

Необходимо указать на некоторые главные элементы теории сейсмостойкости, позволяющие экономично и целесообразно проводить сейсмостойкое строительство.

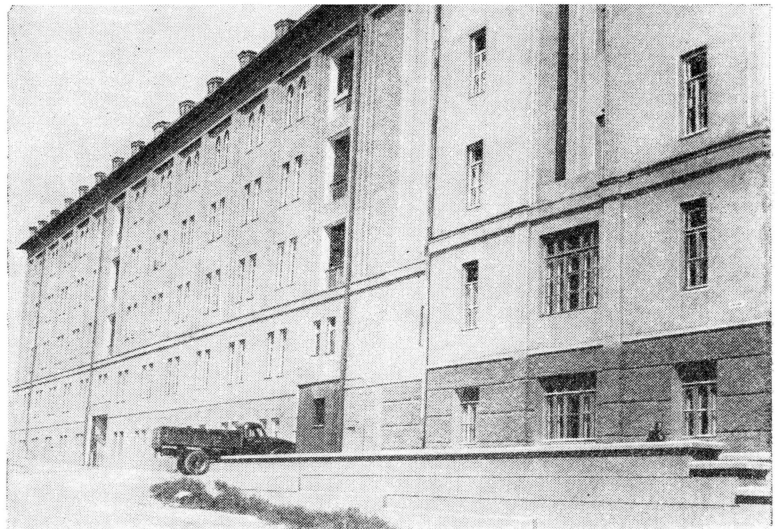


Рис. 5. Правильно построенный сейсмостойкий пятиэтажный дом в Ташкенте, не поврежденный при землетрясении 26 апреля 1966 г.

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Прежде всего, существенное значение имеет правильный выбор участка для размещения нового завода, плотины, нового района города с точки зрения потенциальной сейсмической опасности. Очень важно правильно выполнить планировку самих зданий, выбрать конструктивные схемы и размеры сооружения и т. д. (рис. 5). В настоящее время уже многое сделано. Например, разработаны новые и очень интересные приемы расчета конструкций, успешно применяются счетно-решающие устройства для их проектирования и т. д. Так, при проектировании новых районов Ташкента уже после землетрясения приходилось учитывать сейсмические и региональные особенности.

Дело в том, что в Ташкенте имеется опасность землетрясений с очагами как **местными**, так и **удаленными**.

В апреле 1966 г. очаг располагался непосредственно под центром Ташкента, а при Чаткальском землетрясении (ноябрь 1946 г.) — на расстоянии 200 км от него. От очага землетрясения 1966 г. распространялись высокочастотные колебания, а во время Чаткальского — низкочастотные. Это обстоятельство и нужно учитывать при расчете сейсмостойких сооружений любого размера в Ташкенте.

Совершенствование методов расчета конструкций сейсмостойких зданий позволяет надеяться, что новые сооружения, правильно построенные, будут выдерживать землетрясения без повреждений.

Для людей, живущих в сейсмостойких зданиях, землетрясения перестанут быть стихийным бедствием.

СВЯЗЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ЗЕМЛИ

*Г. Н. ПЕТРОВА,
доктор физико-математических наук*

Прежде чем говорить о возможности прогнозирования землетрясений по особенностям поведения магнитного поля Земли, следует ответить на вопрос, существует ли вообще какая-либо реальная связь между сейсмическими процессами и магнитным полем. Такая связь действительно существует, и ее физические основы достаточно очевидны.

Магнитное поле Земли — имеется в виду так называемое «постоянное поле», не связанное с деятельностью Солнца и с процес-

сами в ионосфере, — можно подразделить на две принципиально отличные части. Основная часть магнитного поля Земли обусловлена процессами в земном ядре, где вследствие непрерывных и регулярных пе-



ремещений электропроводящего вещества создается система электрических токов. Но существует и другая часть геомагнитного поля, связанная с земной корой. Горные породы земной коры, намагничиваясь главным геомагнитным полем — полем ядра, создают собственное магнитное поле, которое складывается с магнитным полем ядра. На поверхности Земли мы измеряем сумму этих двух полей, к которым прибавляется еще магнитное поле, созданное электрическими токами в ионосфере и радиационными магнитными поясами. Эти три составляющие магнитного поля на поверхности Земли можно разделить с помощью специального математического анализа.

Естественно, что к сейсмомагнитному эффекту может иметь отношение только магнитное поле земной коры.

Магнитное поле, созданное намагниченностью горных пород, зависит от их магнитных свойств: 1) магнитной восприимчивости — произведение магнитной восприимчивости на магнитное поле, в котором находится порода, дает величину индуктивной намагниченности; 2) естественной остаточной намагниченности, приобретенной породой не в современном магнитном поле, а раньше, обычно в процессе возникновения породы; 3) магнитной стабильности, т. е. способности остаточной намагниченности сохранять свою величину и направление при различных размагничивающих воздействиях.

Все физические параметры — магнитные, электрические, тепловые, упругие — меняются, если на горную породу накладываются напряжения. Однако пока не перейден предел упругости, все эти параметры меняются обратимо. Это означает, что если при наложении напряжений сжатия данный параметр (например, скорость распространения продольных волн) увеличится, то при снятии этих напряжений он примет начальное значение, а при наложении напряжений растяжения — будет уменьшаться.

Подготовка землетрясения состоит в накоплении напряжений на каком-то участке земной коры. При этом в разных частях этого участка напряжения могут меняться по величине и направлению, в одних местах будут действовать напряжения сжатия, в других — растяжения. Таким образом, суммарное изменение физических параметров в районе подготовки землетрясения может

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ

быть не очень большим. В этом отношении естественная остаточная намагниченность имеет преимущество перед другими параметрами. Эта намагниченность, как уже говорилось, создана раньше и сохраняется в горной породе только благодаря свойству магнитной стабильности. Любое изменение внешних условий, в частности любое наложение или снятие напряжений, будет способствовать разрушению этой намагниченности. Перераспределение напряжений при подготовке землетрясения вызовет постепенное необратимое уменьшение вектора естественной остаточной намагниченности.

У большинства пород естественная остаточная намагниченность больше, чем индуктивная намагниченность в современном поле. Это объясняется тем, что внешние условия, при которых образовалась остаточная намагниченность, т. е. условия, связанные с процессами формирования породы, резко отличались от условий современного существования породы. Намагниченность породы зависит не только от магнитного поля, но и от тех условий, при которых происходит намагничивание. Магнитное поле, создаваемое горной породой, обусловлено, в основном, именно ее остаточной намагниченностью и, следовательно, оно будет меняться при изменении остаточной намагниченности. Это изменение будет суммироваться по всему району подготовки землетрясения и нарастать во времени, поскольку многократное изменение напряжений вызовет большее уменьшение остаточной намагниченности, чем однократное.

Именно поэтому мы можем с уверенностью сказать, что подготовка землетрясения, связанная с перераспределениями напряжений, не может не дать изменения магнитного поля на поверхности Земли. Таким образом, сейсмомагнитный эффект должен существовать.

Встает вопрос, насколько велик этот эффект, насколько легко уловить его. Ведь необходимо иметь в виду, что магнитное поле коры — это только часть общего магнитного поля на поверхности Земли и что процесс подготовки землетрясения охватывает не всю толщу коры в данном районе.

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

а только определенные слои, находящиеся, как правило, на достаточно большой глубине.

Оценки, которые можно сделать на основании лабораторных экспериментов, показывают, что изменения в магнитном поле при перераспределении напряжений в очаге землетрясений должны быть ощутимы при чувствительности современной аппаратуры. Остается один, но достаточно серьезный вопрос: как происходит накопление напряжений во времени? Лабораторные опыты позволяют оценить суммарное изменение остаточной намагниченности и связанного с нею магнитного поля и утверждать, что эти изменения могут быть обнаружены; но если процесс подготовки землетрясения длится несколько десятилетий, то изменение магнитного поля за год или даже за пять лет может быть меньше того уровня, который обеспечивает современная аппаратура.

На этот вопрос в настоящее время ответить еще невозможно, и поэтому при обсуждении реальности сейсмоманнитного эффекта следует попробовать и другой путь — анализ тех изменений магнитного поля, которые наблюдаются в природе и так или иначе связаны с сейсмичностью.

Постоянное магнитное поле Земли, т. е. поле, связанное с ядром Земли и с земной корой, меняется во времени. Эти изменения, не очень значительные по величине и имеющие период порядка тысячи лет, носят названия векового хода. Он вызывается процессами, происходящими в самых верхних частях земного ядра, на границе ядра с оболочкой. На основную картину векового хода накладываются местные, локальные изменения магнитного поля, которые обусловлены процессами, протекающими в земной коре. Какие процессы могут вызывать локальные изменения магнитного поля? Любые процессы — тепловые, химические, упругие, которые влияют на остаточную намагниченность или восприимчивость породы.

Изменение магнитного поля, связанное с изменением температуры горных пород коры, наблюдается в вулканических областях при поднятии расплавленной магмы к поверхности. Изменение магнитного поля при

этом имеет специфический характер, и его легко проследить. Однако при подготовке землетрясений не происходит заметного повышения температуры, а изменение температуры, которое реально может быть в областях, где нет вулканизма, должно охватывать значительно больший район, чем район подготовки землетрясения, и протекать значительно медленнее, чем подготовка землетрясения. Очевидно, изменения магнитного поля, связанные с тепловыми процессами, легко отделить от сейсмоманнитных.

Химические процессы будут развиваться либо у поверхностных пород, либо по разломам в земной коре — и в том, и в другом случае их можно обнаружить. У пород на глубине очага вряд ли могут быть столь интенсивные химические изменения, что они заметно скажутся на характере векового хода.

Таким образом, вероятность того, что локальный вековой ход связан с тектоникой, достаточно велика. Особенно это относится к так называемым «аномалиям векового хода» — изменениям магнитного поля, имеющим резко локальный характер. Они наблюдаются только в сейсмоактивных районах и приурочены к разломам в земной коре, по которым располагаются очаги землетрясений. Наличие в сейсмоактивных районах аномалий, обнаруженное советским ученым В. П. Орловым, является первым указанием на реальность сейсмоманнитного эффекта.

Японские геофизики обнаружили резкое изменение локального векового хода в районе землетрясения после того, как оно произошло. Такой эффект наблюдался неоднократно и учеными других стран. Изменения при этом настолько велики и очевидны, что не вызывают никакого сомнения ни самый факт их существования, ни их связь с произошедшим землетрясением. В этом случае мы имеем дело непосредственно с сейсмоманнитным эффектом, но с эффектом, **последующим** за землетрясением, а не предшествующим ему. Есть основания считать, что суммарное изменение магнитного поля при перераспределении напряжений после землетрясения соизмеримо с суммарным изменением поля при подготовке землетрясения, поскольку область, где происходит перераспределение напряжений, величина и характер этих напряжений, а также магнит-

ные свойства пород и глубина их залегания остаются теми же. Меняется только один параметр — время, за которое происходит перераспределение, а этот параметр, как уже говорилось, играет немаловажную роль.

Сотрудники Геофизического института в Свердловске Н. А. Иванов и В. А. Шапиро на основании изучения магнитных свойств горных пород при переменных нагрузках в лаборатории оценили изменение магнитного поля, которое должно происходить в момент землетрясения. Опыты с искусственными взрывами подтвердили правильность их выводов: ими обнаружено, что в момент искусственного землетрясения магнитное поле над аномалией, вблизи которой производился взрыв, необратимо меняется на величину, надежно регистрируемую современной аппаратурой.

За последние годы различными исследователями обнаружены изменения в магнитном поле незадолго до местного землетрясения. Изменение градиента магнитного по-

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ

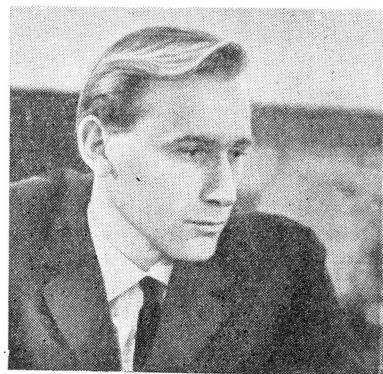
ля между двумя пунктами, вблизи которых произошел ряд землетрясений, наблюдалось сотрудниками Института физики Земли АН СССР и Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР (ИЗМИРАН) В. П. Головковым, Ю. Р. Ривиным, Ю. П. Сковородкиным в 1966 г. Однако все эти результаты нуждаются в самой серьезной и тщательной проверке, которая полностью подтвердила бы связь наблюдавшихся явлений именно с землетрясениями и только с ними.

Суммируя, можно сказать следующее: возможность предсказывать землетрясения по изменениям в магнитном поле Земли еще не доказана, но реальность сейсмоманнитного эффекта настолько очевидна, что стоит обратить самое серьезное внимание на выяснение этой возможности.

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Ю. Г. ЛЕОНОВ,
кандидат геолого-минералогических наук

В геологии и других науках о Земле тектоническими движениями (тектоническими процессами) называют механическое перемещение вещества в земной коре. Землетрясения возникают в результате таких тектонических процессов. Исключение представляют только вулканические и обвальные землетрясения, незначительные по силе и площади сотрясения. Поскольку тектонические процессы связаны с сейсмическими явлениями, они могут быть названы **сейсмотектоническими** процессами. Земная кора находится в постоянном движении. Совре-



менные тектонические движения — абсолютные или относительные поднятия и опускания земной поверхности — происходят повсеместно на материках и в океанических бассейнах. Но в разных местах они отличаются своими особенностями.

Современные движения могут быть быстрыми и медленными. Об этом свидетельствует факт существования на Земле разнообразного рельефа. Значительная часть суши

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

занята равнинными пространствами, которым соответствуют низменности с характерным для них слабо расчлененным рельефом; другая часть занята горами. Геологами и геоморфологами давно доказано, что горы, возникшие в результате подъема земной поверхности, быстро (в геологическом понимании) разрушились бы, если бы поднятие их прекратилось. Существование высокогорного рельефа указывает на то, что подъем земной поверхности в горных районах не только продолжается, но и происходит настолько быстро, что опережает речной размыв и денудацию * вообще. Наоборот, в равнинных районах на суше и в море происходят медленные движения. В районах с медленными движениями процессы денудации успевают сглаживать все возникающие неровности. Существуют также районы с быстрыми опусканиями. При опусканиях в одних случаях происходит заполнение возникающих депрессий осадками, в других — возникают впадины, не заполненные осадками. В настоящее время известны скорости современных движений для самых различных районов земного шара. Они колеблются в широких пределах, от долей миллиметра в год до 10 мм/год, а изредка и до 50 мм/год.

Землетрясения возникают в тех районах, где скорость современных тектонических движений достаточно велика. Там, где скорости малы, землетрясений либо совсем не происходит, либо бывают только слабые и редкие толчки. Интересно сравнить карты распределения землетрясений с картами современных движений. Если посмотреть на сейсмическую карту СССР и карту распределения вертикальных движений земной поверхности за последние 10—20 млн. лет, то можно видеть, что землетрясения концентрируются в районах с быстрыми движениями, в районах современного горообразования и по краям глубоководных впадин. Это убедительно свидетельствует о тектонической природе землетрясений.

* Разрушение суши реками, снеготалыми и дождевыми водами, ветром, морозным выветриванием и т. д.

В Институте физики Земли АН СССР исследуют зависимость между скоростями современных движений и возможной силой (и частотой) возникающих при этом землетрясений. Удалось наметить некоторые закономерности этого процесса. Но дело усложняется тем, что скорость движений — лишь один из многих факторов, определяющих сейсмический режим. Не менее важную роль играет распределение движений по площади, их направление, строение земной коры и т. д.

На равнинах и в некоторых горных областях тектоническими движениями, имеющими одинаковые по величине и направлению скорости, охвачены большие площади. Здесь зоны прогибания плавно переходят в зоны поднятия. Эти движения обладают малой контрастностью, т. е. у них мал градиент скорости вертикальных смещений. Напротив, для большинства горных районов, особенно районов с повышенной сейсмичностью, типично чередование узких зон поднятий с узкими зонами опусканий. Контрастность движений в таких районах велика; градиент скорости вертикальных движений в этих зонах тоже велик, особенно в местах перехода от прогибающихся участков к поднимающимся. Наглядной иллюстрацией может служить распределение поднятий и впадин Тянь-Шаня. Но отмеченная закономерность не имеет абсолютного характера, так как иногда землетрясения наблюдаются и вне районов с горным рельефом — на равнинах (Красноводское землетрясение) или на холмистых равнинах (ряд областей Китая и т. д.).

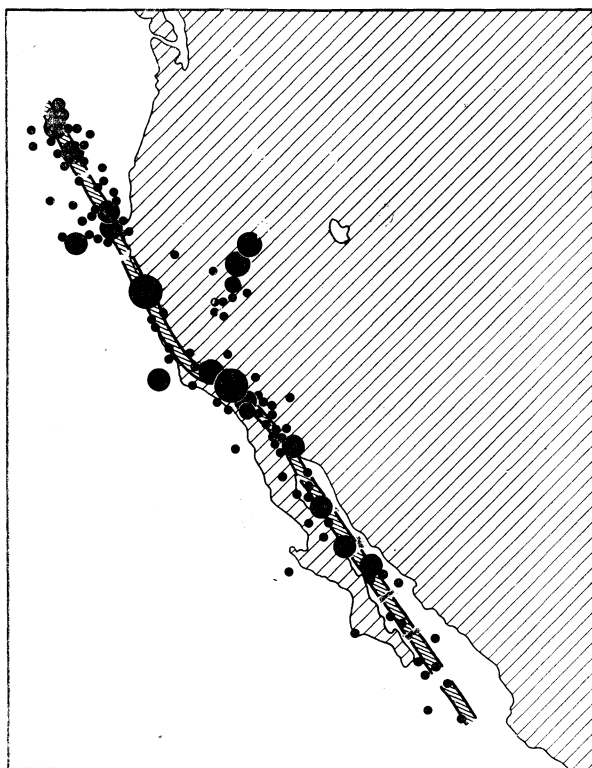
Повышенной сейсмичностью обычно обладают районы с контрастными движениями. Причем и в этих районах землетрясения распределяются на площади неравномерно: землетрясения чаще возникают и обладают большей энергией на границах поднимающихся и опускающихся участков, т. е. там, где контрастность перемещений максимальна. Там же, где контрастность перемещений невелика, где движениями одного знака и приблизительно одинаковой скорости захвачены обширные пространства, значительных землетрясений, как правило, не происходит.

Сейчас достаточно ясно, что тектонические землетрясения связаны с движениями по разрывам. Об этом убедительно свидетельствуют все данные геологии и геофи-

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ

зики. Разрывы представляют собой трещины в земной коре, по которым происходит смещение материала. Отдельные разрывы часто группируются в большие зоны, обладающие значительной протяженностью и нередко проникающие в глубь Земли на десятки километров. Некоторые зоны прослеживаются даже до глубин в несколько сот километров.

Строение отдельных разрывов и зон различно. Они отличаются амплитудой смещения, направлением смещения, протяженностью, внутренним строением и т. д. Подчеркнем, что эти разрывы находятся на разных глубинах и многие из них не достигают поверхности. От всех этих особенностей зависит сейсмическая активность.



Эпицентры землетрясений в зоне разрыва Сан-Андреас в Калифорнии. (Зона разрыва заштрихована плотной штриховкой.)

Связь землетрясений с разрывами хорошо иллюстрируется (см. рисунок) совпадением их очагов с линиями разрывов. С разрывами больших и малых масштабов связаны и разные землетрясения. Наиболее сильные и частые землетрясения связаны с крупными зонами разрывов. Такие разрывы находятся в зоне перехода от Азиатского и Американского континентов к Тихому океану, где они прослеживаются до глубины 600—700 км; менее глубокие, но также очень большие зоны разрывов прослеживаются на границах большинства областей современного горообразования с примыкающими к ним впадинами.

Советскими геологами и геофизиками проведены большие исследования по изучению строения земной коры и сейсмичности Тянь-Шаня и ряда других районов Средней Азии. Было установлено, что наиболее значительные разрывы отделяют поднятия Тянь-Шаня от окружающих его равнинных пространств. Ряд разрывов установлен и внутри Тянь-Шаня и на границах между межгорными впадинами и поднятиями, выраженными горными хребтами. Вдоль таких разрывов концентрируются наиболее сильные разрушительные землетрясения — землетрясения 1807 и 1887 гг., последнее из них разрушило город Верный — теперешнюю Алма-Ату; Чиликское землетрясение 1889 г., Хаитское землетрясение 1949 г. на южной границе Тянь-Шаня и др. Близкое происхождение имело, по-видимому, Ашхабадское землетрясение 1948 г. Изучение сейсмического и тектонического режима указанных зон исключительно важно, так как столицы почти всех республик Средней Азии и многие другие города расположены вблизи от таких крупнейших разрывов.

Несмотря на то, что изучение сейсмотектонических процессов ведется в последние 15—20 лет довольно интенсивно, остается еще много нерешенных вопросов.

Однако общие успехи в развитии сейсмологии и сейсмогеологии позволяют надеяться на прогресс в понимании сейсмотектонических закономерностей, важных для сейсмологических прогнозов.

О ПРОГНОЗЕ ВРЕМЕНИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

В. И. МЯЧКИН,

кандидат физико-математических наук



Прогнозирование времени возникновения землетрясений — сложный, наименее изученный вопрос. Для его полного решения необходимы знания процессов, происходящих в очагах землетрясений, и постановка комплекса разнообразных детальных полевых и лабораторных экспериментов. Я останавливаюсь лишь на некоторых исследованиях с использованием сейсмических методов, проводимых в Советском Союзе.

Самой общей физической закономерностью процесса подготовки и проявления землетрясения является накопление и перераспределение в некоторой области земной оболочки потенциальной энергии — энергии упругих напряжений. Это происходит за счет неравномерности медленных тектонических деформаций земной коры. В момент землетрясения эта энергия частично или полностью высвобождается. Для того, чтобы наступило следующее землетрясение, нужна новая порция энергии, следовательно, должно пройти некоторое время, пока она накопится. И обычно сейсмическая «погода» после грозного сотрясения надолго улучшается, так как, в отличие от атмосферных, земные «сейсмические течения» происходят весьма медленно.

На этой основе, изложенной здесь весьма упрощенно, грубый прогноз сейсмичес-

кой погоды предложен С. А. Федотовым (Институт физики Земли АН СССР) для Курило-Камчатской зоны. Он обобщил большой экспериментальный материал и предложил долгосрочный прогноз по пятилетиям для этой зоны. В прогнозе содержатся вероятностные оценки проявления сильных землетрясений, выделены районы, где в настоящее время возможны катастрофические сотрясения. И хотя такой прогноз не решает полностью проблемы, он облегчает сейсморайонирование. Например, отмечены районы, где в недалеком будущем наиболее вероятны землетрясения, и это следует учитывать при строительстве. Выделение районов наибольшей вероятности мощных землетрясений важно еще и потому, что позволяет сконцентрировать силы для поисков предвестников землетрясений, а также опробовать различные методики на ограниченной площади. Выбор места наблюдения — как раз одна из главных трудностей в поисках предвестников землетрясений.

Существует и другой подход к прогнозированию землетрясений, использующий также данные об их энергии. Всем известно, что любой хрупкий материал трескает перед разрывом. Эти трески — микроразрушения, возникшие либо вследствие не-

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ

одинаковой прочности частей материала, либо из-за местных концентраций напряжений на неоднородностях внутри него.

В большом масштабе нечто похожее происходит и в крупных объемах горных пород. Работами Института физики Земли АН СССР показано, что в ряде случаев для горных ударов — катастрофических разрушений в шахтах — и для крупных землетрясений имеется отчетливая связь между повышением сейсмической активности (числа слабых разрывов) и актом удара или сильного землетрясения (С. Д. Виноградов, В. И. Кейлис-Борок и Л. Н. Малиновская).

Однако такая прямая связь отмечается далеко не всегда.

Дело в том, что много слабых землетрясений могут сильно уменьшить запас потенциальной энергии, и ее окажется недостаточно для возникновения крупного разрушения. Возможен и другой вариант, когда в большом однородном объеме пород мало непрочных связей и, следовательно, повышение числа потрескиваний окажется незначительным.

Дополнением к такому подходу могут служить наблюдения за распределением землетрясений по их сейсмической энергии. Закон распределения числа землетрясений по энергии представляется, как показано в статье Ю. В. Ризниченко*, прямой линией. Изменение режима — увеличение количества сильных землетрясений — поворачивает эту прямую, уменьшает ее наклон γ . Такое же уменьшение γ отмечено в шахте перед горным ударом (рис. 1). Аналогичная закономерность отмечалась и для землетрясений в некоторых районах Средней Азии (Ю. А. Мамадалиев).

А теперь остановимся на перспективах прогноза землетрясений по наблюдениям за распространением искусственных сейсмических волн, возбуждаемых взрывом и

проходящих через очаги землетрясений. Еще в начале нынешнего века некоторые сейсмологи и среди них академик Б. Б. Голицын обратили внимание на возможность использования зависимости скорости распространения и поглощения упругих волн от давления для прогнозирования земле-

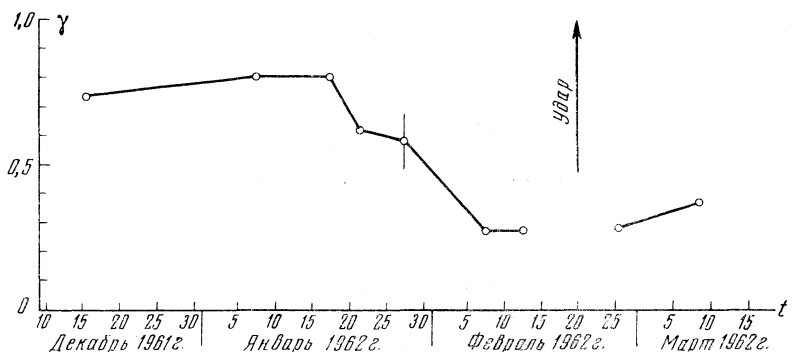


Рис. 1. Изменение величины γ перед горным ударом в глубокой шахте Чехословакии (по С. Д. Виноградову)

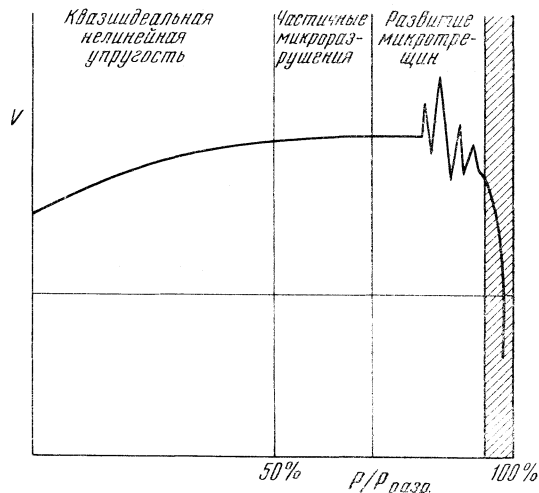


Рис. 2. Общий вид зависимости скорости V упругих волн от нагрузки P (в процентном отношении к разрушающей нагрузке $P_{разр.}$)

* Ю. В. Ризниченко. Сейсмический климат и сейсмическая погода. «Земля и Вселенная», № 6, 1967 г.

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

трясений. Вплотную изучением этих закономерностей на образцах горных пород занялись только в 50-х годах, когда появилась ультразвуковая техника измерений.

Из рис. 2 видно, что с повышением напряжения скорость упругих волн сначала возрастает быстро, затем она почти не меняется, а с появлением в породе микротрещин меняется скачкообразно. Развитию окончательного разрушения соответствует резкое падение скорости упругих волн. Приблизительно таким же образом изменяются в зависимости от напряжений и амплитуды упругих колебаний. Тип породы и характер напряжения играют при этом существенную роль.

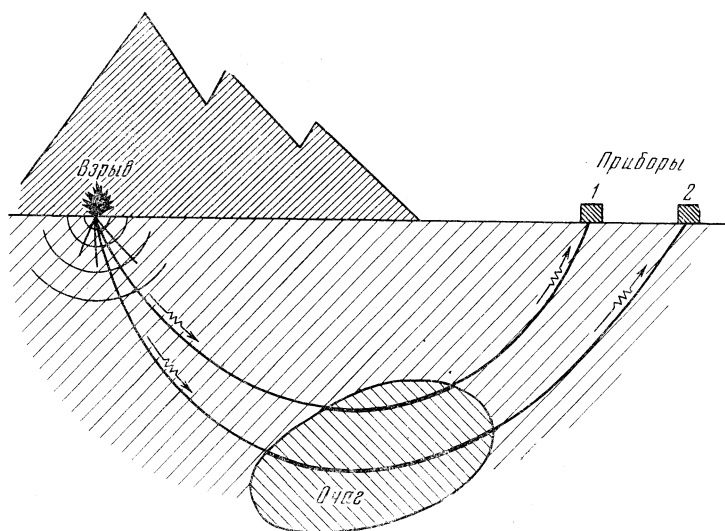


Рис. 3. Принципиальная схема повторных «просвечиваний» зоны развития очага землетрясений с помощью упругих волн, возбуждаемых взрывом

Анализ экспериментальных данных показывает, что изменения скорости перед разрушением зависят от глубин очагов. Для глубин 1—2 км в некоторых случаях эти изменения могут составлять 20—30 %, для 10—30 км — 1—2 %.

Рис. 3 представляет упрощенную схему следующего эксперимента. Упругие волны, возбужденные взрывом, распространяясь через земную кору, проходят участок развивающегося очага землетрясений и регистрируются сейсмографами. При этом фиксируется общее время распространения волн и величина их амплитуды. Через определенные промежутки времени (например, через 1 месяц) проводятся повторные взрывы. При изменении напряжений в очаге должны измениться скорость пробега и амплитуды волн, а также общее время пробега. Эти изменения фиксируются. В настоящее время такие наблюдения регулярно ведутся Институтом физики Земли в Средней Азии (И. Л. Нерсесов) и начинаются на Камчатке (В. И. Мячкин).

Мы рассмотрели упрощенную схему наблюдений. В реальных условиях картина сильно усложняется волнами, прошедшими другими путями, искривлением сейсмических лучей в очаговой зоне и т. д. Основная трудность заключается в выборе мест проведения таких экспериментов и недостаточности наших знаний о скорости накопления и величине напряжений в очаге землетрясений.

Здесь рассмотрены лишь некоторые аспекты проблемы прогнозирования землетрясений во времени. Решение проблемы будет связано с комплексным всесторонним исследованием учеными разных стран этого грозного явления природы.



КОМЕТА ... ПОД ЗЕМЛЕЙ!

В последние годы внимание геофизиков и астрономов привлекают необычные геологические кольцевые структуры, получившие название астроблемы (звездные раны). В астроблемах наблюдаются радиальная деформация пластов, раздробленные породы, необычные минералы и другие особенности, свидетельствующие о мощном ударном взрыве. Имеются веские основания считать их огромными древними метеоритными кратерами поперечником до нескольких десятков километров. Сейчас на Земле обнаружено около 100 таких мест падений гипотетических гигантских метеоритов. Одна из астроблем — Госис Блаф — находится в Австралии. Это — поднятие, окруженное кольцом брекчии диаметром около 14 км. Возраст ее оценивается в 130 млн. лет.

Недавно во время сейсмической съемки в районе Госис Блаф наблюдалось неожиданное явление. После взрывов пробных зарядов из неглубоких скважин происходило кратковременное истечение газов, содержащих (как показал химический анализ) азот, кислород, водород, окись углерода, следы метана. Малая глубина скважин, состав и характер местных пород не типичны для проявления обычного природного газа.

Австралийский геолог К. Крук высказал весьма смелое предположение, что астроблема Госис Блаф образована ударом не метеорита, а ледяного ядра кометы размером около 500 м. Кометные ядра, как известно, действительно содержат в себе замерзший циан, метан, воду, аммиак и другие газы. Во время удара о Землю со скоростью 20 км/сек и последующего катастрофического взрыва вещество кометного ядра перемешалось с земной породой и было с большой силой вдавлено в грунт. Заполнив полости и поры, кометное вещество оказалось погребенным под брекчией и туфом. Таким образом оно сохранилось законсервированным в те-

чение миллионов лет до тех пор, пока разведочные скважины не обнаружили его.

Дальнейшие исследования покажут, насколько эта гипотеза соответствует истине.

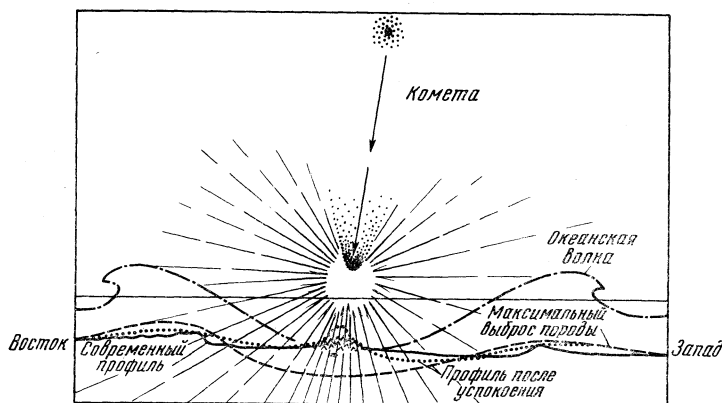
«Nature», 213, 5080, 1967.

ПОДВОДНЫЙ МЕТЕОРИТНЫЙ КРАТЕР

Экстравагантная гипотеза предложена американским геологом А. Келли для объяснения происхождения предполагаемого ископаемого метеоритного кратера — бассейна Сиера-Мадера в южном Техасе (США). Эта структура, обнаруженная в древних морских отложениях, представляет собой окруженную кольцевым валом впадину поперечником более 10 км. Котловина сложена почти горизонтальными слоями

теров. Однако ударно-метеоритному объяснению структуры Сиера-Мадера противоречит спокойное залегание пластов и ненасыпной характер вала.

По мнению Келли, эта форма-ция возникла при падении в океан кометы, когда этот район был покрыт слоем воды толщиной 2—3 км (см. рисунок). Ядро кометы (которое Келли считает плотным роем твердых частиц) с космической скоростью ударило в воду, произошел гигантский взрыв. Ударная волна, пройдя через воду, ослабла и смогла вызвать катастрофические разрушения дна лишь в эпицентре. Одновременно в океане образовалась огромная водяная воронка: взрыв на какое-то мгновение раздвинул толщу воды. Вода увлекла за собой донные осадки, отложив их в виде кольцевого вала. Освобожденное



осадочных пород, лишь в центре их прорывает известняковый купол. Выветренная вершина купола возвышается на 450 м, образуя группу остроконечных гор. Пласты здесь сильно разрушены, а в известняке встречаются «конусы сотрясения». Такие конические системы трещин появляются в породе под действием мощной ударной волны; они характерны почти для всех метеоритных кра-

от гидростатического давления морское дно вспучилось в эпицентре и поднялось. При оседании воронки вода принесла назад взмученный материал, который образовал слои новых осадков, сгладившие рельеф подводного кратера. Через много миллионов лет кратер поднялся на поверхность, а затем был сильно сглажен эрозией.

«Meteoritics», 3, 2, 1967.

ФИЗИКА ЗВЕЗД

В. В. СОБОЛЕВ,
член-корреспондент АН СССР

Автор статьи В. В. Соболев — председатель комиссии по физике звезд и туманностей Астровета Академии наук СССР — рассказывает о вкладе советских астрофизиков в исследование различных видов стационарных и нестационарных звезд.

Изучая звезды, астрофизики ставят перед собой две задачи. Одна из них — выяснение строения, происхождения и развития звезд и звезд-

ных систем. Решение этой задачи много дает для удовлетворения человеческой любознательности и выработки правильного мировоззрения.

Другая задача — исследование физических процессов, протекающих в звездах. Физические условия в звездах сильно отличаются от условий, с которыми мы привыкли иметь дело на Земле. Температуры внутри звезд достигают десятков миллионов градусов, а плотности внутри некоторых звезд (белых карликов) в миллионы раз превосходят плотность воды. Во внешних же слоях звезд (и особенно в туманностях, окружающих звезды) плотности чрезвычайно малы. Изучение поведения материи при таких необычных условиях обогащает науку новыми важными фактами и ведет к обнаружению новых физических закономерностей.

Однако изучение звезд встречается с огромными трудностями, так как до нас доходит лишь ничтожное количество света звезд. Поэтому прогресс в астрофизике



Бюракан. Башня 50-сантиметрового телескопа Южной базы Ленинградского государственного университета имени А. А. Жданова

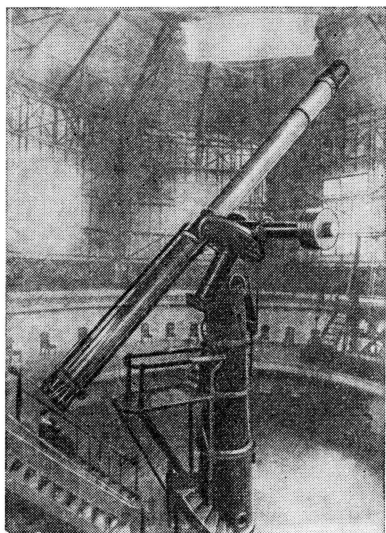


Рис. 1

теснейшим образом связан с постройкой крупных телескопов и чувствительных приемников излучения.

Из наблюдений получают спектрограммы звезд, которые и служат основой астрофизических исследований.

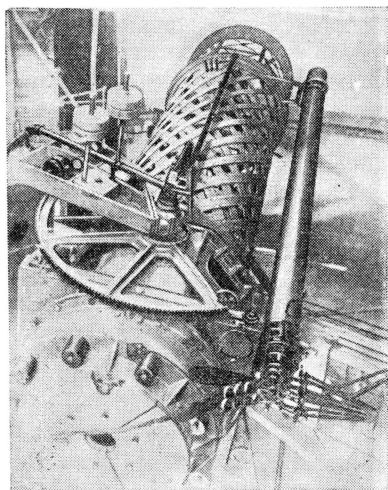


Рис. 2

Для расшифровки спектрограмм необходима хорошо разработанная теория образования спектров. Поэтому быстрое развитие астрофизики началось лишь после 1925 г., когда были сделаны первые шаги в построении квантовомеханической теории атома.

В нашей стране работы по физике звезд проводились еще в дореволюционное время. Первый крупный телескоп (диаметр 76 см) был установлен в Пулковской обсерватории в 1885 г. (рис. 1). На этом инструменте выдающийся русский астрофизик — академик А. А. Белопольский исследовал спектры звезд различных классов. В частности, он впервые определил изменение с течением времени лучевых скоростей многих переменных звезд.

После революции развитие астрофизики пошло более быстрыми темпами. В 1924 г. в Симеизской обсерватории был установлен телескоп с диаметром зеркала 1 м (рис. 2), давший возможность выполнить многочисленные исследования звезд. Из них надо особенно отметить работы академика Г. А. Шайна по измерению лучевых скоростей звезд, изучению спектрально-двойных звезд и движений в звездных атмосферах.

С конца 20-х годов началась научная деятельность академика В. А. Амбарцумяна, ставшего основателем советской теоретической астрофизики. Еще до войны им были выполнены важные исследования по физике газовых туманностей и статистической механике звездных систем.

В послевоенное время в Советском Союзе был постро-

ен ряд крупных астрофизических обсерваторий: Крымская, Бюраканская, Шемахинская и др. Крымская обсерватория обладает сейчас самым большим телескопом в Европе (диаметр зеркала 2,6 м). Постройкой этих обсерваторий заложена прочная база для развития наблюдательной астрофизики в нашей стране. После войны сделала существенные шаги вперед и наша теоретическая астрофизика. В ряде областей этой науки советские ученые занимают ведущее место в мире.

В настоящем очерке кратко рассказывается об основных направлениях работ и достижениях советских ученых в области физики звезд.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗВЕЗД

Основной вопрос физики звезд — выяснение источников энергии, за счет которой звезды светятся. В течение долгого времени он оставался без ответа. В ту эпоху астрофизики строили теоретические модели звезд при различных предположениях об источниках энергии. Однако тогда были сформулированы и некоторые общие теоремы, касающиеся строения звезд. Большое исследование, посвященное устойчивости звезд, было выполнено А. Б. Северным.

В 40-е годы было наконец установлено, что свечение звезд происходит в основном за счет ядерных реакций, преобразующих водород в гелий. При таких реакциях приблизительно 1% массы обычного вещества превращается в излучение. Поэтому Солнце при его нынешней светимости может

излучать за счет ядерных реакций в течение 10^{11} лет (если сначала оно было водородным, а потом станет гелиевым). Такая продолжительность жизни Солнца хорошо согласуется с современными представлениями о сроках эволюции звезд.

Теоретическая физика позволяет определить мощности ядерных источников энергии в зависимости от температуры, плотности и химического состава. В настоящее время, пользуясь этими данными, астрофизики делают расчеты моделей разных типов звезд и путей их эволюции. В нашей стране А. Г. Масевич произвел такие расчеты для красных гигантских звезд.

С проблемой строения звезд тесно связана проблема их происхождения и эволюции. Многие астрофизики считают, что звезды возникают из диффузного вещества и затем эволюционируют в результате постепенного «выгорания» водорода. Совершенно другой взгляд по этому вопросу высказал В. А. Амбарцумян. В 1949 г. им был открыт, а затем подробно изучен совместно с Б. Е. Маркаряном новый тип звездных систем — звездные ассоциации. Возраст звезд, входящих в ассоциации, по-видимому, не превосходит нескольких миллионов лет. Можно предполагать, что эти звезды образовались совместно из каких-то более плотных звездных тел. Такое предположение подтверждается расширением ассоциаций, а также рядом других фактов.

Возникает вопрос: существуют ли в Галактике сверхплотные космические тела? В. А. Амбарцумян и Г. С. Саакян теоретически показали возможность существования

таких тел, состоящих из вырожденного барионного газа (т. е. газа из протонов, нейтронов и гиперонов). Массы этих тел должны быть порядка массы Солнца, а радиусы — около 10 км. Однако подобные тела нами не могут наблюдаться: если бы даже их поверхностная температура достигала миллиона градусов, они вследствие своих малых размеров излучали бы в видимой части спектра лишь очень небольшую энергию.

Пока мы не можем сделать выбор между двумя предложенными гипотезами о происхождении звезд. Эта проблема будет, по-видимому, решена в недалеком будущем.

ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ В ЗВЕЗДАХ

Энергия, за счет которой светятся звезды, вырабатывается в их внутренних частях, а затем переносится наружу. Как показывают расчеты, перенос энергии в звездах осуществляется в основном лучеиспусканием (хотя некоторую роль играет и конвекция). С первого взгляда может показаться, что при огромной скорости света выход излучения из центральной области звезды наружу происходит очень быстро. В действительности это не так. Возникшее внутри звезды излучение поглощается атомами, затем испускается ими, поглощается другими атомами и т. д. Длительность этого процесса диффузии излучения чрезвычайно велика. Например, излучение из центра Солнца доходит до его поверхности за время порядка 10 млн. лет!

Исследование процесса переноса энергии имеет очень большое значение для теории внутреннего строения звезд. Не меньшее значение оно имеет и для теории самых внешних, наблюдаемых слоев звезд — звездных атмосфер. Перенос излучения в атмосфере звезды определяет вид звездного спектра. А лишь по виду спектра мы можем судить о различных физических характеристиках звезды.

Заслуга В. А. Амбарцумяна состоит в создании эффективного метода решения разных задач теории переноса излучения. Сущность метода заключается в получении уравнений, которые определяют непосредственно интенсивности излучения, выходящего из звезды. В настоящее время этот метод широко применяется не только к звездным атмосферам, но и к другим астрофизическим объектам: атмосферам планет, туманностям и т. д.

Этот метод в дальнейшем был развит ленинградскими астрофизиками. Особый интерес для теории звездных атмосфер представляет первые полученное ими решение задачи образования спектральных линий с учетом перераспределения излучения по частотам внутри линии. Найденное решение используется для истолкования линий поглощения в звездных спектрах. Вместе с тем оно применяется и для объяснения эмиссионных линий в ультрафиолетовом спектре Солнца, полученном с помощью ракет.

Следует отметить, что задачей о диффузии излучения в спектральной линии много занимаются и физики, так как она встречается при изучении плазмы.

ЗВЕЗДНЫЕ АТМОСФЕРЫ

Астрофизики тщательно изучают звездные спектры: измеряют распределение энергии в непрерывном спектре, определяют профили и интенсивности линий поглощения. Эти данные служат основанием для заключений о строении звездных атмосфер и их химическом составе. Для таких заключений необходимы также теоретические модели звездных атмосфер.

Э. Р. Мустель один из первых рассчитал распределение энергии в непрерывном спектре горячих звезд (с поверхностными температурами порядка 10 000—20 000°). Поглощение излучения в атмосферах этих звезд производится в основном атомами водорода. На рис. 3 для примера приведена вычисленная кривая распределения энергии в спектрах звезды с поверхностной температурой 16 000°. Пунктиром на рис. 3 дана кривая распределения энергии в спектре абсолютно черного тела (излучение которого раньше считалось близким к излучению звезды). Разница между этими кривыми огромна.

Как показывают вычисления, в спектрах горячих звезд должны быть скачки интенсивности у пределов спектральных серий (они видны на рис. 3). Объясняется это тем, что поглощение света связано с ионизацией атомов из различных дискретных состояний. В видимой части спектра расположен предел бальмеровской серии водорода. Здесь происходит «бальмеровский скачок», вызванный поглощением света водородными ато-

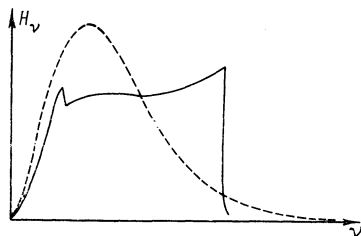


Рис. 3

мами, находящимися во втором квантовом состоянии. Вычисленные и наблюдаемые бальмеровские скачки (как и другие характеристики спектра в видимой области) хорошо согласуются между собой.

Однако в спектрах горячих звезд низкой светимости (в частности, белых карликов) бальмеровский скачок почти совсем отсутствует. Это вызвано огромными ускорениями силы тяжести в атмосферах таких звезд, приводящими к большим концентрациям частиц. Так как частицы «мешают» друг другу, то высокие энергетические уровни атомов в действительности не осуществляются. Поэтому ионизация атомов может производиться излучением меньших частот, чем в атмосферах с меньшей плотностью. Этот эффект различен в разных слоях атмосферы, благодаря чему бальмеровский скачок не сдвигается, а размывается.

А. К. Колесовым (Ленинградский государственный

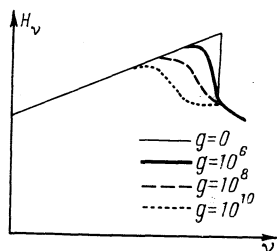


Рис. 4

университет) были рассчитаны модели атмосфер белых карликов. На рис. 4 показано теоретическое распределение энергии в спектре звезды с поверхностной температурой 12 000° в области бальмеровского предела. Из рисунка видно, что чем больше ускорение силы тяжести (g) в атмосфере звезды, тем сильнее размыт бальмеровский скачок в ее спектре. Отсутствие бальмеровских скачков в спектрах белых карликов говорит об очень больших значениях ускорения силы тяжести в их атмосферах (порядка 10^8 см/сек²). Такой же вывод можно сделать на основании наблюдаемой большой ширины бальмеровских линий в спектрах этих звезд, обусловленной эффектом Штарка (т. е. влиянием электрических полей ионов и свободных электронов).

Советские астрофизики также подробно изучали линейчатые спектры звезд. По профилям спектральных линий Г. А. Шайн впервые определил скорости вращения звезд (совместно с американским астрофизиком О. Струве). Позднее большое исследование скоростей вращения звезд выполнили сотрудники Крымской астрофизической обсерватории А. А. Боярчук и И. М. Копылов. Они же определяли химический состав атмосфер звезд ранних спектральных классов. В Крымской обсерватории и Астрофизическом институте Академии наук Казахской ССР исследовались магнитные поля звезд.

ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Значительная часть звезд (примерно около трети) входит в двойные системы. Ком-

поненты каждой из двойных звезд обращаются вокруг общего центра тяжести, притягиваясь друг к другу по закону Ньютона. Изучение их движения дает астрономам единственный надежный способ определения масс звезд. Компоненты двойной системы часто находятся очень близко друг от друга — на расстояниях, сравнимых с их радиусами. В этих случаях видеть отдельные звезды нельзя, и двойственность устанавливается на основании наблюдаемого изменения лучевых скоростей звезд, происходящего вследствие орбитального движения. Иногда наблюдается периодическое изменение блеска звезд, вызываемое прохождением одного из компонентов звездной пары перед другим компонентом. Такие двойные звезды называются затменными переменными.

Исследование двойных звезд, и особенно затменных переменных, велось в Советском Союзе очень интенсивно. Первые важные работы в этом направлении выполнил известный московский астроном С. Н. Блажко. В дальнейшем затменные переменные подробно изучались на обсерваториях Казанского и Одесского университетов. Д. Я. Мартынов исследовал тонкие эффекты, связанные с интерпретацией кривых блеска, и определил различные физические характеристики звезд. В. П. Цесевич составил подробные таблицы для определения элементов орбит затменных переменных.

При изучении тесных звездных пар могут быть найдены не только массы звезд, но также их радиусы, светимости и распределение яркости по диску. В некоторых случаях из наблюдательных данных был

сделан вывод о существовании в двойных системах газовых потоков, возникающих вследствие выбрасывания вещества из звезды. Исследование таких потоков, выполненное советскими астрофизиками в последние годы, представляет значительный интерес с точки зрения теории эволюции звезд.

ЦЕФЕИДЫ

Одним из наиболее интересных типов звезд являются цефеиды, периодически меняющие свой блеск. Для классических цефеид период изменения блеска составляет примерно неделю, а амплитуда — около одной звездной величины. Вместе с изменением блеска меняется также лучевая скорость звезды, определяемая по смещению спектральных линий. Этот эффект открыл А. А. Белопольский еще в 1896 г. Впоследствии физические условия в атмосферах цефеид были очень подробно изучены пулковским астрофизиком О. А. Мельниковым.

Сначала думали, что цефеиды представляют собой тесную звездную пару. Однако вычисления показали, что в таком случае одна звезда должна вращаться внутри другой. Поэтому цефеиды стали считать пульсирующими звездами.

Теория звездных пульсаций разрабатывалась многими зарубежными астрофизиками. Однако своего наибольшего успеха она достигла лишь недавно в работах С. А. Жевакина из Горьковского университета. По его теории пульсирует не вся звезда, а лишь ее периферическая часть, причем пульсация связана с клапанным

действием зоны двукратной ионизации гелия. При сжатии звезды из-за возрастания непрозрачности этой зоны происходит поглощение ею потока излучения, а при расширении звезды — усиленное пропускание потока излучения наружу. Указанный механизм действует лишь при определенном содержании гелия в оболочке звезды (порядка 15% по числу атомов) и при определенной глубине залегания зоны. Поэтому могут пульсировать лишь звезды-гиганты и сверхгиганты определенной структуры.

Эта теория объясняет основные закономерности, получаемые из наблюдений цефеид. Вместе с тем она может быть применена к объяснению изменений блеска и спектра переменных звезд других типов: долгопериодических переменных, звезд типа RV Тельца и т. д.

ЗВЕЗДЫ С ЯРКИМИ СПЕКТРАЛЬНЫМИ ЛИНИЯМИ

В спектрах некоторых звезд ранних классов (звезд типов Вольфа — Райе, Р Лебеда и др.) присутствуют яркие линии. На рис. 5 показаны спектры звезд типа О и Вольфа — Райе. В спектрах последних хорошо видна эмиссионная линия (на рисунке — темная широкая линия) ионизованного гелия с длиной волны 4686 Å. Объясняется это выбрасыванием вещества из звезды, в результате чего вокруг нее образуется протяженная движущаяся оболочка. Такая оболочка поглощает ультрафиолетовое излучение звезды (очень сильное у горячих звезд) и перерабатывает его в кванты меньших частот. В частности,

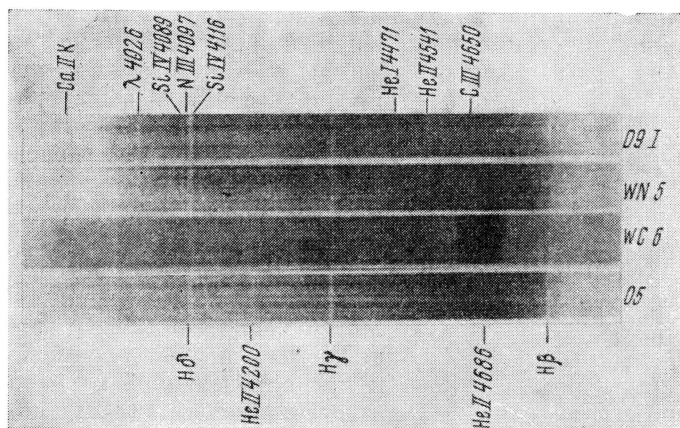


Рис. 5

так возникают и кванты в спектральных линиях в видимой области спектра.

Советские астрофизики внесли значительный вклад в изучение звезд с яркими спектральными линиями. Наблюдения таких звезд производились в Крымской, Абастуманской и других обсерваториях. Для понимания природы звезд типа Вольфа — Райе много дали наблюдения Б. А. Воронцова-Вельяминова.

В Ленинградском университете была разработана теория свечения движущихся оболочек звезд. Путем сравнения этой теории с наблюдательными данными удается получить сведения о характере движения оболочек и о физических условиях в них. В частности, было найдено количество вещества, выбрасываемого звездой за год. Оказалось, например, что масса, теряемая ежегодно звездой типа Вольфа — Райе, составляет примерно 10^{-5} солнечной массы. Отсюда следует, что звезда в той стадии развития, когда она обладает яркими спектральными линиями, не может существовать

долго. По-видимому, эти звезды возникли сравнительно недавно, и они постепенно превращаются в обычные звезды без ярких линий. Заключение о молодости таких звезд подтверждается тем, что большинство их входит в звездные ассоциации, которые также являются молодыми образованиями.

Очень трудные задачи возникают при изучении звезд поздних классов с яркими линиями, к которым относятся, в частности, долгопериодические переменные. В чем причина появления ярких линий в спектрах столь холодных звезд? Ведь интенсивность их ультрафиолетового излучения слишком мала для того, чтобы яркие линии могли появиться за счет этого излучения. Советскими астрофизиками был указан ряд механизмов образования таких сложных спектров.

Особый интерес представляют звезды-карлики поздних классов с яркими линиями. Относящиеся к ним переменные звезды типа Т Тельца являются характерными членами некоторых звездных ассоциаций (Т-ассоциаций). Уди-

вительная особенность этих звезд состоит в том, что в эпоху возрастания блеска звезды появляются не только яркие линии, но и сильный непрерывный спектр, накладывающийся на обычный непрерывный спектр с линиями поглощения. В некоторых случаях (у звезд типа UV Кита) блеск звезды возрастает в десятки раз всего за несколько минут. Такая вспышка звезды не может быть объяснена доставкой энергии из звездных недр наружу теплопроводностью или лучистым переносом. Поэтому В. А. Амбарцумян предположил, что возникновение дополнительного непрерывного спектра во время вспышки звезды вызывается выбросом из нее наружу вещества, являющегося источником звездной энергии. В поверхностных слоях звезд это вещество распадается с освобождением некоторой энергии, превращающейся затем в излучение. Спектры «вспыхивающих» звезд подробно изучались в Бюракане и Крыму.

НОВЫЕ ЗВЕЗДЫ

Новой звездой называется, как известно, звезда, быстро увеличивающая свой блеск в десятки тысяч раз, а затем медленно угасающая. Возгорание новой звезды происходит за время порядка суток, а ее угасание — в течение нескольких лет. Вместе с изменением блеска звезды происходят громадные изменения и в ее спектре. Ежегодно в нашей Галактике вспыхивает около 100 новых звезд, однако мы обнаруживаем лишь 1—2 из них (находящихся сравнительно близко от Солн-

да). Открытие каждой новой звезды является значительным событием в астрономии, и поэтому они тщательно наблюдаются на многих обсерваториях. Ценные наблюдательные данные об изменениях блеска и спектров новых звезд были получены рядом советских обсерваторий.

Вспышка новой звезды объясняется взрывом, при котором от звезды отрывается оболочка, постепенно рассеивающаяся в пространстве. После отрыва оболочки начинается истечение вещества из звезды. В первый период вспышки на оболочку действуют как излучение звезды, так и выбрасываемое ею вещество. Исследование движения и свечения оболочки в этот период выполнил В. Г. Горбацкий. В более позднее время оболочка светится в принципе так же, как газовые туманности, т. е. в результате поглощения и переработки ультрафиолетового излучения звезды.

К числу наиболее изученных новых звезд принадлежит Новая Геркулеса 1934 г., кривая блеска которой изображена на рис. 6. Характерная особенность этой звезды — быстрое уменьшение блеска через некоторое время

после начала вспышки, а затем его вторичное возрастание. Уменьшение блеска объясняется прекращением выбрасывания вещества из звезды, вследствие чего рассеялась протяженная фотосфера, излучавшая много энергии в видимой области спектра. При этом вскрылась очень горячая звезда, и под действием ее сильного ультрафиолетового излучения началось свечение разреженной оболочки, выброшенной звездой ранее. Во время минимума блеска оболочка не была ионизована и не светила. Постепенно происходило возрастание степени ионизации атомов в оболочке и усиление ее свечения. Этот процесс закончился во время вторичного максимума блеска, когда в оболочке установилось лучистое равновесие. За счет усиления интенсивности эмиссионных линий блеск новой звезды возрос при этом в несколько сотен раз.

Новая Геркулеса в эпоху вторичного возрастания блеска является примером свечения при отсутствии лучистого равновесия. Подобные процессы происходят и в оболочках других новых звезд. Теория свечения звездных оболочек при отсутствии лучистого равновесия была разработана в Ленин-

градском университете. Применение этой теории к новым и новоподобным звездам дало важные сведения о физической природе таких звезд.

СВЕРХНОВЫЕ ЗВЕЗДЫ

При вспышке новой звезды выделяется энергия порядка 10^{45} — 10^{46} эрг. Однако существуют звезды, при вспышках которых выделяется энергии примерно в 10 000 раз больше. Такие звезды называются сверхновыми.

За последнее тысячелетие в нашей Галактике наблюдались всего три сверхновые звезды (в 1054 г. в Тельце, в 1572 г. в Кассиопее и в 1604 г. в Змееносце). Однако огромная яркость таких звезд в эпоху максимума блеска позволяет легко обнаруживать их в других галактиках. К настоящему времени очень подробно изучены изменения блеска и спектра нескольких десятков сверхновых звезд.

При вспышках сверхновых звезд образуются расширяющиеся туманности с массой порядка 0,1 массы Солнца. Знаменитая Крабовидная туманность — результат вспышки Сверхновой 1054 г. Эта туманность излучает энергию не только в оптической области спектра, но и в радиодиапазоне. Для объяснения радиоизлучения Крабовидной туманности был предложен синхротронный механизм (тормозное излучение релятивистских электронов в магнитном поле). Однако происхождение свечения туманности в видимой части спектра в течение некоторого времени оставалось неясным. И. С. Шкловский выдвинул гипотезу о том, что это свечение также вызывается син-

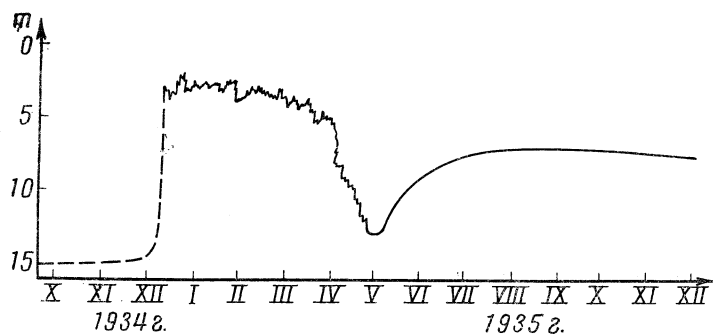


Рис. 6

хротронным механизмом. Такая гипотеза подтверждается рядом фактов. Наиболее важный из них состоит в том, что излучение Крабовидной туманности в сильной степени поляризовано. Это явление было обнаружено и подробно исследовано В. А. Домбровским.

В нашей Галактике открыто много дискретных источников радиоизлучения. Часть из них — остатки сверхновых звезд. По-видимому, вспышка сверхновой звезды происходит примерно раз в 100 лет.

За время жизни Галактики, оцениваемое в 10^{10} лет, должно было произойти 10^8 таких вспышек. Следовательно, вспышки сверхновых звезд должны играть существенную космогоническую роль.

Несомненно, что за прошедшие 50 лет советские ученые достигли значительных успехов в изучении звезд. Особенно велики достижения нашей теоретической астрофизики. Благодаря вступле-

нию в строй ряда крупных телескопов заметно ускорилось и развитие наблюдательной астрофизики в нашей стране.

Надо также отметить, что до недавних пор разработка астрофизических проблем велась в основном специалистами-астрономами. Однако сейчас в эту работу включились и специалисты — физики: В. Л. Гинзбург, Я. Б. Зельдович и многие другие. Это еще более улучшает перспективы развития советской астрофизики.



СУЩЕСТВУЮТ ЛИ «РАДИОЗВЕЗДЫ»?

В одном из последних номеров французского астрофизического журнала * опубликована интересная статья Дж. Влерики и Р. Верона «Существуют ли «радиозвезды»? Этот вопрос не нов. Радиоастрономы давно пытаются найти «радиозвезды», т. е. звезды, излучающие в радиодиапазоне в десятки тысяч раз сильнее, чем Солнце. Ведь только от таких звезд и можно пытаться принять радиоизлучение на Земле с имеющейся в настоящее время аппаратурой. Но до сих пор не было известно ни одного случая, когда бы на месте радиоисточника в оптическом диапазоне находилась обычная звезда. Радиоисточники, концентрирующиеся к плоскости Млечного Пути, т. е. находящиеся в нашей Галактике, отождествляются либо с остатками вспышек сверхновых, либо с объектами не звездной природы. Радиоисточники, находящиеся на высоких галактических широтах, как правило, оказываются объектами метagalактическими и отождествляются или с галактиками, или с голу-

быми квазизвездными объектами (квазарами).

Влерики и Верон обратили внимание на семь радиоисточников из 3С-каталога, на месте которых в оптическом диапазоне не удалось обнаружить ничего, кроме обычных слабых звездочек; это или субкарлики спектрального класса G, или красные гиганты класса K. Самым интересным оказался радиоисточник 3С-294, отождествленный со звездой 11,8 звездной величины (спектральный класс F). В спектре этой звездочки хорошо видны водородные линии, по смещению которых удалось определить скорость. Оказалось, что звезда приближается к нам со скоростью около 250 км/сек!

В ближайшее время отождествление указанных Влерики и Вероном радиоисточников будет проделано заново, чтобы исключить возможную ошибку. Кроме того, по-видимому, потребуются выяснять, не проецируются ли звезды на радиоисточники.

Интересно, что, по данным американского радиоастронома Ф. Баппа, проводившего интерферометрические исследования на длине волны 11 см, пять из семи радиоисточников, отождествленных со звездами, оказались двойными (с расстоянием между радиокомпонентами от 5 до 20"). Напомним, что двойственная структура радиоизлучающих областей типична для радиогалактик. Если учесть, что в ядрах галактик преобладают старые звезды спектральных классов G и K, то мож-

но прийти к выводу, что сделанное Влерики и Вероном отождествление радиоисточников со звездами тех же типов может быть и ошибочным. Эти «звездочки» при более детальном исследовании могут оказаться и ядрами слабых галактик.

Таким образом, убедительного ответа на вопрос о существовании радиозвезд пока еще нет.

В. В. КОМБЕРГ



42-й РЕЙС «ВИТЯЗЯ»

Летом 1967 г. экспедиция под руководством Н. П. Васильковского выполнила геолого-геофизические исследования котловины Японского моря. В комплекс работ входило изучение земной коры методами глубинного сейсмического зондирования и отраженных волн, съемка магнитного и гравитационного полей, изучение рельефа, сбор донных отложений и коренных пород, измерение теплового потока в различных морфологических зонах.

Н. М. БЕЛОУСОВ,
кандидат географических наук

* «Annales d'astrophysique», 30, 341, 1967.

Низкочастотные волны около Земли и в Космосе

Я. Л. АЛЬЦЕРТ,
профессор

В статье рассказано об основных типах электромагнитных волн частотой от долей герц до десятков тысяч герц, наблюдаемых около Земли — в приземном волноводе, в ионосфере и межпланетной среде.

Электромагнитные волны, заполняющие мироздание, излучаются множеством естественных источников — Солнцем, галактиками, звездами, межпланетной и приземной плазмой — ионосферой, грозами и другими природными образованиями. Частоты этих волн изменяются от единиц до миллионов (10^6), миллиардов (10^9) и триллионов (10^{12}) колебаний в секунду (герц). Потоки их энергии около Земли на различных частотах также сильно отличаются. Так, например, в максимуме видимой части спектра волн, излучаемых Солнцем на длине волны $5000 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$), поток энергии порядка $2 \cdot 10^{-16} \text{ вт/см}^2 \cdot \text{гц}$. Видимый глазом свет перекрывает диапазон частот примерно в $3 \cdot 10^{14} \text{ гц}$ ($4000\text{—}7000 \text{ \AA}$), и полное количество его энергии достигает очень большой величины — оно порядка $6 \cdot 10^{-2} \text{ вт/см}^2$. Это означает, что за 6 часов на каждый квадратный сантиметр около Земли падает примерно 1 квт видимых электромагнитных волн! В радиодиапазоне поток электромагнитной энергии спокойного Солнца на метровых волнах порядка $10^{-26} \text{ вт/см}^2 \cdot \text{гц}$, т. е. в 20 миллиардов раз ($2 \cdot 10^{10}$) меньше потока на волне $5000 \text{ \AA}$. За миллион лет радиоприемное устройство с лучшей из существующих в мире антенн зарегистрирует лишь 1 вт радиоизлучения Солнца на метровых волнах! Правда, в периоды повышенной активности Солнца величина потока возрастает в сто тысяч раз. Однако и это очень малая величина.

О совершенно ничтожно малых потоках энергии около Земли идет речь, даже когда говорят об излучении квазаров. Полное количество выделяемой ими энергии, рассчитанное при различных, еще мало проверенных предположениях, превосходит намного энергию, которую могла бы, например, выделить галактика в результате термоядерной реакции. Несмотря на это, из-за чрезвычайно большой удаленности квазаров поток их энергии около Земли ничтожно мал. Так, например, в метровом диапазоне волн он равен лишь $10^{-28} \text{ вт/см}^2 \cdot \text{гц}$. Это в триллион раз меньше максимальных значений потока Солнца в этом же диапазоне частот. Поток же излучения Галактики на метровых волнах достигает примерно $10^{-27} \text{ вт/см}^2 \cdot \text{гц}$, что в сто миллиардов раз меньше потока света Солнца.

Естественно, что открытие и изучение электромагнитных волн, приносящих на Землю столь мало энергии, стало возможным в наше время благодаря чрезвычайно возросшему совершенству техники измерений, феноменальной чувствительности и точности радиоустройств, благодаря использованию громадных и сложных антенн. Наряду с бурным ростом и успехами в исследованиях на высоких и очень высоких частотах, современная техника экспериментов и использование спутников позволили в последнем десятилетии (особенно в самые последние годы) существенно развить изучение

также низкочастотных электромагнитных волн около Земли в диапазоне звуковых волн от единиц герц до нескольких десятков килогерц — на ультранизких (УНЧ) и сверхнизких частотах (СНЧ). Интерес к этой области исследований возрастает. Потоки энергии СНЧ и УНЧ электромагнитных волн около Земли значительно превышают потоки энергии волн на высоких частотах; они достигают 10^{-11} — 10^{-10} Вт/см² · Гц, что заставляет задуматься о возможности их роли в различных электромагнитных явлениях, наблюдаемых в окрестности Земли. Их связь с различными процессами может оказаться весьма значительной вследствие активного взаимодействия низкочастотных волн с плазмой.

Большое разнообразие физических механизмов и типов возбуждаемых в природе низкочастотных волн, чрезвычайное разнообразие свойств плазмы около Земли, в межпланетной среде, около планет и в межзвездной среде, в которых могут происходить низкочастотные электромагнитные явления, а также разнообразие и большое множество экспериментальных методов исследования этих волн фактически приводят к образованию самостоятельного нового раздела физики — низкочастотной электродинамики.

Цель настоящего очерка — описать только лишь некоторые виды и свойства низкочастотных электромагнитных волн, наблюдавшихся около Земли. В широкой печати эти вопросы очень мало освещались.

Основные задачи, которые решаются при изучении поля электромагнитных волн — светового или радиоизлучения Солнца, звезд, Галактики или, скажем, квазаров — сводятся к диагностике источников и среды, т. е. к изучению их свойств и механизмов излучения, к изучению законов распространения этих волн. Естественно, что аналогичные задачи решаются при исследованиях СНЧ и УНЧ волн. Рассмотрим первоначально низкочастотные волны, генерируемые непосредственно около земной поверхности.

ВОЛНЫ, ИЗЛУЧАЕМЫЕ МОЛНИЕЙ

Наиболее регулярно действующий источник низкочастотных волн около земной поверхности — молния. Сигнал, образуемый единичным разрядом молнии вдали от нее, называют атмосфериком. В любой точке

на Земле в каждую секунду принимается примерно от 5 до 50 атмосфериков. Они приходят с различных направлений и расстояний. Вблизи от источника, на расстояниях от нескольких десятков до 100—200 км, сигналы молнии имеют вид, изображенный на рис. 1. Для расстояния от источника в несколько тысяч километров осциллограмма трех стадий атмосферика показана на рис. 2. На рис. 3 изображена более детально только вторая стадия атмосферика, обозначенная на рис. 2 буквой *b*; в нижней части рис. 3 показан также двукратно отраженный от ионосферы атмосферик. В первой стадии — *a* (рис. 2) — атмосферик имеет прерывистую структуру. Этой части сигнала соответствует широкий спектр излучаемых молнией низкочастотных (НЧ) и сверхнизкочастотных (СНЧ) волн с максимумом на частоте порядка 30 кГц (длиной волны 10 км). Этот максимум лежит, по существующей классификации, на границе между НЧ и СНЧ волнами. Вторая часть сигнала имеет вид затухающих квазипериодических колебаний (рис. 3, *b*). Ей соответствуют главным образом СНЧ волны частотой 1—30 кГц. Максимальная интенсивность этой части сигнала наблюдается на частотах 5—8 кГц (длина волн в 60—38 км). Спектр третьей части *c* (рис. 2) атмосферика, именуемой «хвостом», состоит из УНЧ волн, частоты которых меньше 1—2 кГц; он имеет максимум примерно на частоте 100 Гц (длина волны 3 000 км).

Столь сильное изменение формы сигнала с расстоянием, которое заметно из сравнения рассмотренных рисунков, обусловлено самим процессом распространения сигнала в сферической полости, образуемой поверхностью Земли и нижней границей ионосферы и именуемой волноводом. Высота полости 60—100 км. Основная ее особенность состоит в том, что ее электропроводящие «стенки» (Земля и ионосфера) способны отражать (с некоторыми потерями энергии) электромагнитные волны. Внутри волновода воздух не ионизирован и не проводит электричества. В волноводе возбуждается множество волн при излучении в нем даже монохроматических электромагнитных колебаний — на одной частоте. Интерференция этих волн приводит к сложной картине поля. Не менее важно, что из-за влияния магнитного поля Земли верхняя «стенка» частично пропускает образуемые в волноводе низкочастотные волны. Они

Амплитуда сигнала

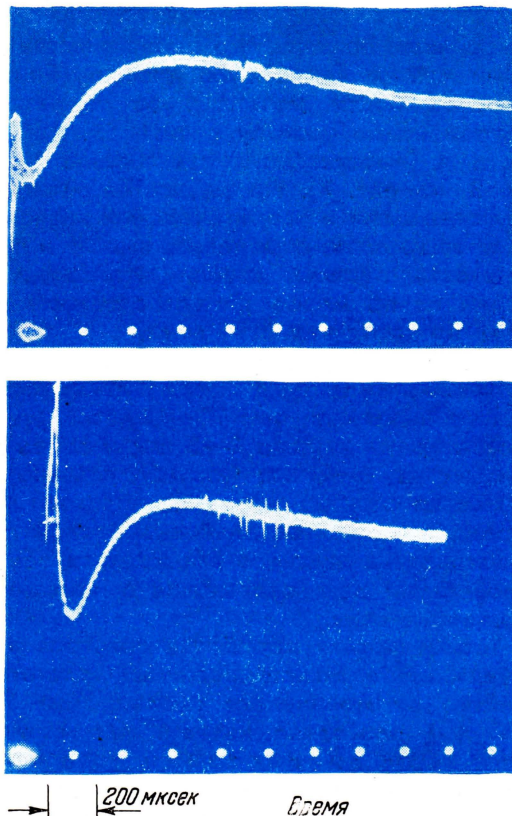
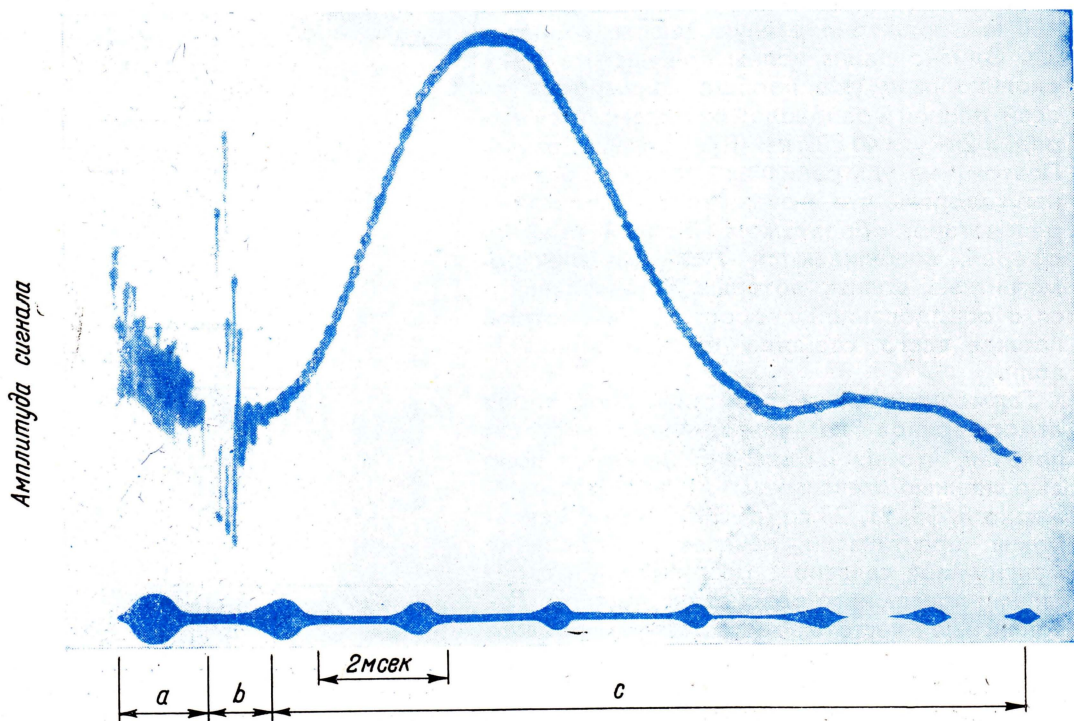


Рис. 1. Сигнал атмосфера на близких расстояниях (100—200 км) от его источника — молниевых разряда

направляются «силовыми линиями» магнитного поля Земли и выходят во внешнюю часть ионосферы. Это свойство приземной волновод низкочастотных волн, возбуждаемых вне него, что возможно до тех пор, пока волны возникают в областях приземной плазмы, регулируемых магнитным полем Земли. Поэтому и удается обнаруживать и изучать низкочастотные волны, о которых будет речь в следующих разделах этого очерка.

Рассматривая волны, образуемые молниями непосредственно в приземной области, не всегда, однако, правильно употреблять термин «волновод». Действительно,

Рис. 2. Атмосфера на расстоянии в несколько тысяч километров от молниевых разряда. *a* — первая стадия: сигнал прерывистой структуры; *b* — вторая стадия: квазипериодический сигнал — «высокочастотная» часть атмосфера; *c* — третья стадия: «хвост» сигнала — «низкочастотная» часть атмосфера



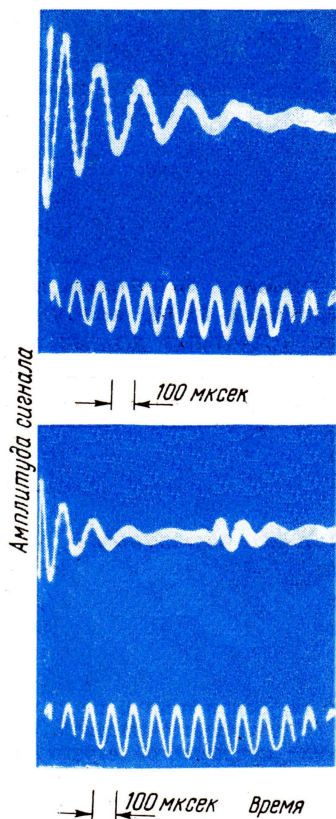


Рис. 3. Высоко-
частотная часть ат-
мосферика. Внизу
показан двукратно
отраженный от ио-
носферы атмосфе-
рик

волны частотой 3—5 кгц имеют длину 60—100 км, примерно равную высоте волново-
да. Однако длина волны при частоте в не-
сколько герц уже вообще соизмерима со
всей длиной волновода; она становится по-
рядка $2\pi R_0 \approx 40\,000$ км (R_0 — радиус Земли).
Поэтому на ультранизких частотах правиль-
нее говорить, что в очень тонкой полости —
резонаторе, образуемом Землей и ионо-
сферой, возбуждаются молнией электро-
магнитные волны, которые устанавливаю-
тся с определенной скоростью. Рассмотрим
прежде всего свойства именно этих УНЧ
волн.

Гармонический анализ суммарного поля
атмосфериков на ультранизких частотах
показал, что их интенсивность имеет ярко
выраженные максимумы на частотах при-
мерно 8, 14, 21, 24 гц (рис. 4). Затем maxi-
мумы практически исчезают. Появление
максимумов связано с резонансными свой-
ствами приземного резонатора в целом. Ре-
зонансные частоты, естественно, прежде
всего определяются его размерами (радиус-
сом Земли), но зависят также от высоты
волновода и проводимости верхней его
стенки (основания ионосферы). Так, напри-

мер, если принять, что проводимость верх-
ней стенки бесконечно велика (близка к
проводимости металла), то теоретически
резонансные частоты равны 11, 18, 24 гц
и т. д. (вертикальные пунктирные линии 1,
2, 3 на рис. 4). По разностям между на-
блюдаемыми и теоретическими значениями
частоты можно определить высоту и про-
водимость верхней стенки волновода. Вот
один из примеров диагностики сре-
ды по свойствам УНЧ волн.

На достаточно далеких расстояниях от ис-
точника амплитуда поля атмосфериков
имеет максимум при 70—150 гц, глубокий
минимум на частоте 2—3 кгц и вновь мак-
симум на 6—9 кгц (рис. 5). Однако этот
характер спектра поля уже не связан непо-
средственно с резонансными свойствами
волновода в целом, а объясняется общими
свойствами распространения в нем низко-
частотных волн.

Теоретическая обработка спектров атмо-
сфериков, зарегистрированных достаточно
близко от молниевго разряда (до 100—
200 км), позволяет изучать его свойства.
Этот метод диагностики уже само-
го источника — изучения его спектра —
используется в различных опытах.

Теория распространения УНЧ и СНЧ волн
в приземном волноводе математически сло-
жна и с учетом всех особенностей (неодно-
родности ионосферы, влияния магнитного
поля и т. п.) далека еще от завершения.
Вместе с тем в настоящее время в ряде слу-
чаев теория позволяет довольно близко

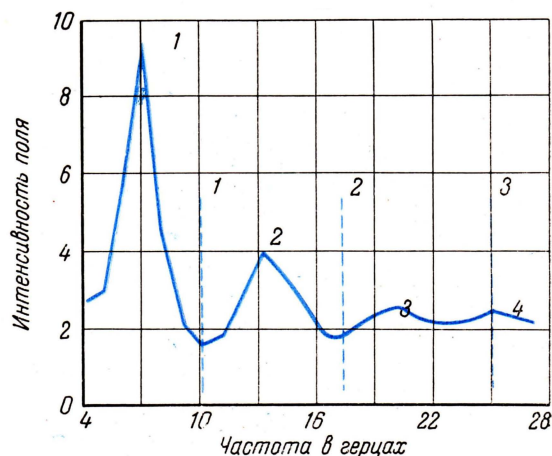


Рис. 4. Зависимость интенсивности поля атмо-
сфериков от частоты на ультранизких частотах.
Видны резонансы на частотах 8, 14, 21 и 24 гц

рассчитывать свойства поля низкочастотных волн в реальных условиях. Так, например, теоретические спектры поля атмосфериков близко совпадают с наблюдаемыми экспериментально (рис. 5). О хорошем согласии между теорией и экспериментом можно также судить из рассмотрения рис. 6. На нем изображен сигнал (часть *b*, рис. 2 и 3), рассчитанный теоретически (синяя линия) и зарегистрированный примерно на том же расстоянии атмосферик. В основных деталях эти сигналы близко совпадают. Сравнение ряда свойств поля атмосфериков с теорией является методом изучения свойств нижней ионосферы.

Весьма важное достижение исследований поля атмосфериков состоит в том, что полный анализ их спектров определяет скорость распространения низкочастотных волн. Измерение скорости электромагнитных волн в любом диапазоне частот — сложный и тонкий эксперимент. В рассматриваемых опытах можно получать скорость в широком диапазоне СНЧ и УНЧ волн. Измерять скорость прямыми методами ниже

5—10 кгц весьма трудно, а на частотах в сотни и десятки герц такие опыты практически вообще вряд ли осуществимы. Вместе с тем знать скорости этих волн необходимо. Результаты определения отношения средней скорости распространения v к скорости света c для частот от 200 гц до 30 кгц в одной серии опытов показаны на рис. 7.

Теоретически кривые $\bar{v}/c$ даны для расстояния от источника примерно 6000 км. Средняя скорость УНЧ и СНЧ волн, как это видно из рис. 7, может отличаться от ско-

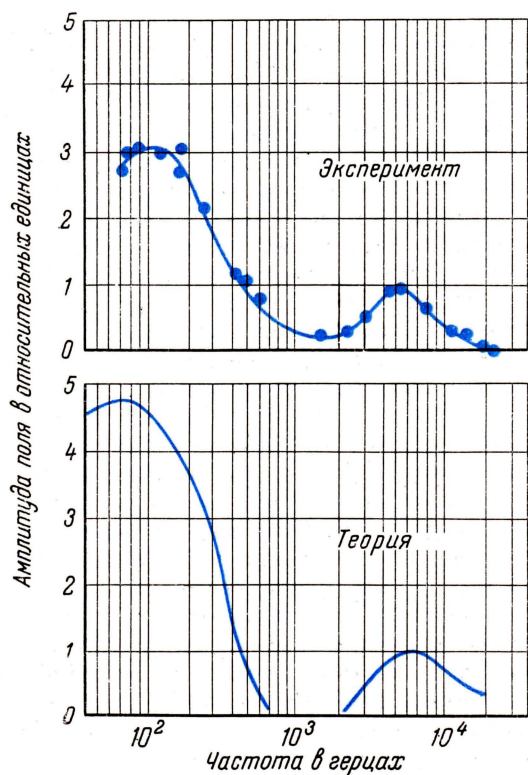


Рис. 5. Зависимость амплитуды поля атмосфериков от частоты — спектр атмосферика. Эксперимент (вверху), теория (внизу)

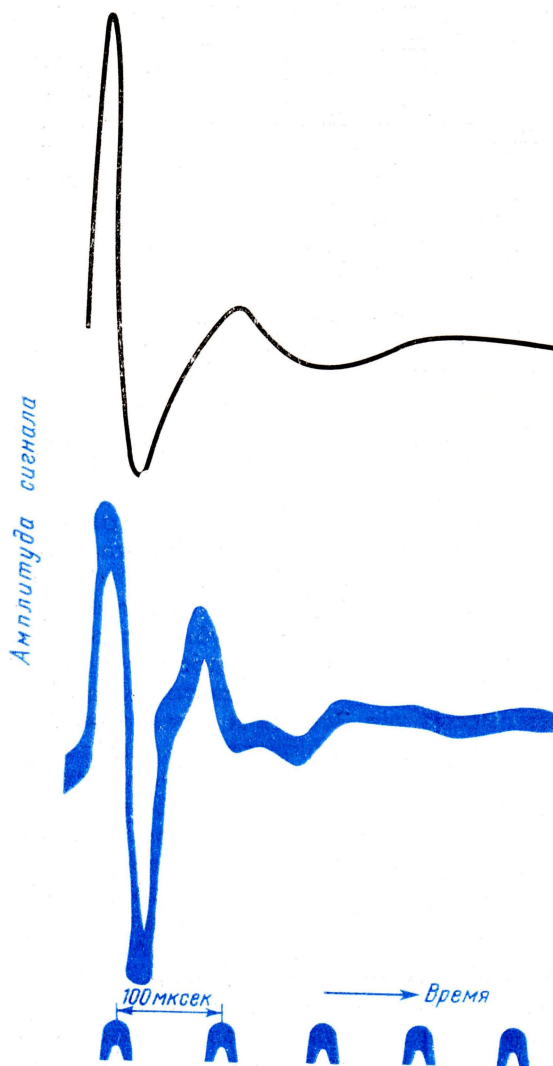


Рис. 6. Атмосферики. Рассчитанный теоретический сигнал (вверху) и сигнал, зарегистрированный примерно на этом же расстоянии экспериментально (внизу)

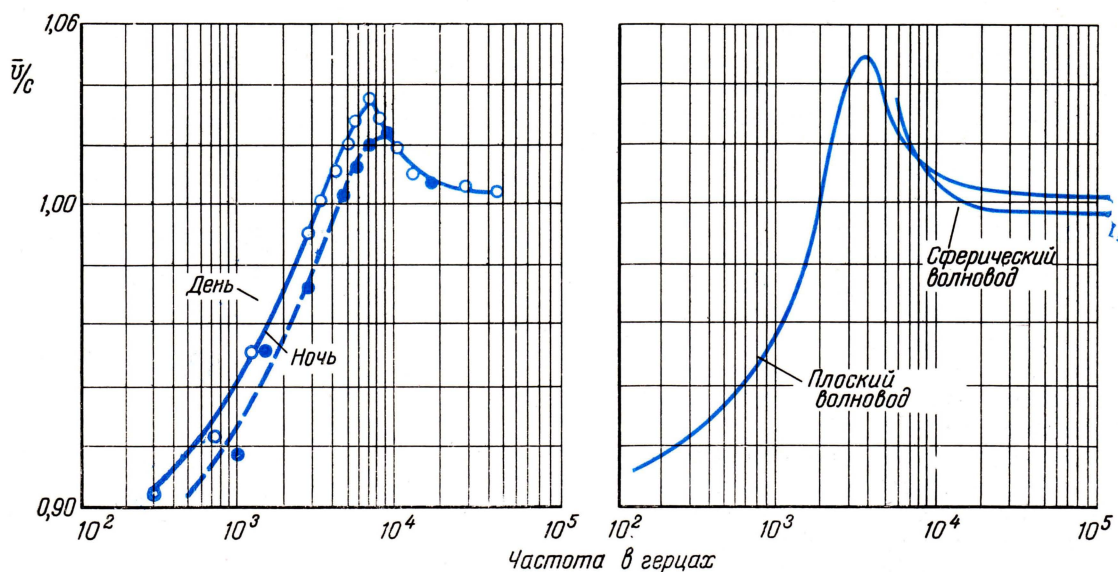


Рис. 7. Экспериментальная (слева) и теоретическая (справа) зависимости отношения средней скорости УНЧ и СНЧ волн к скорости света (v/c) от частоты.

рости света на несколько процентов. Теоретические расчеты хорошо согласуются с экспериментом.

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ИОННЫЕ СВИСТЯЩИЕ АТМОСФЕРИКИ

В ионосферу излучение молнии просачивается из приземного волновода, как уже указывалось, вдоль силовых линий магнитного поля Земли. Силовая линия магнитного поля Земли (или силовая трубка), проходящая через заданную точку, достигает своего апогея над магнитным экватором достаточно высоко над Землей и затем кончается в симметричной относительно него точке в другом полушарии. Так, например, силовая линия, которая начинается вблизи Москвы (широта 56°), проходит в апогее на высоте примерно 14 000 км. Силовая линия, которая начинается в Ленинграде ($\sim 60^\circ$), имеет апогей высотой 19 000 км, в Мурманске ($\sim 69^\circ$) — 43 000 км, а в Ашхабаде ($\sim 37^\circ$) высота апогея равна лишь 3600 км.

Пакет волн, образующий атмосферик, «канализуясь» вдоль силовой линии, может достичь противоположного полушария. Естественно, что часть траектории пакетов волн может лежать в волноводе — проходить от точки их излучения (или приема) до области, где они начинают просачиваться в ионосферу. Более того, отражаясь от зем-

ной поверхности, пакет волн может вернуться обратно в область, близкую к исходной точке силовой линии, и даже совершать многократные переходы из одного полушария Земли в другое. Такие явления действительно наблюдаются. Однако в ионосфере процесс распространения электромагнитных колебаний (волн) существенно отличается от того, что происходит в приземном волноводе. Поэтому сигналы сильно преобразуются и имеют в ионосфере и в противоположной точке Земли совершенно другой вид. Некоторые образцы таких сигналов, названных свистящими атмосфериками, зарегистрированные на земной поверхности или непосредственно в ионосфере на спутниках, показаны на рис. 8, 9.

Для того, чтобы объяснить вид этих сигналов и их название, необходимо коротко описать основные особенности распространения низкочастотных волн в ионосфере. Одно из этих свойств уже указывалось: низкочастотные волны направляются (канализуются) магнитным полем. Однако из-за влияния магнитного поля в плазме возникают две низкочастотные волны. Распространение одной из них (необыкновенной) обусловлено колебаниями электронов, распространение второй (обыкновенной) — колебаниями ионов. Соответственно можно их назвать электронной и ионной волнами. Векторы их электрического поля за

один период делают один оборот вокруг направления распространения — волны поляризованы по кругу. Для электронной волны направление вращения правое (по часовой стрелке), для ионной — против часовой стрелки (левое вращение). Обе волны распространяются по различным путям, скорости их сильно зависят от частоты, что объясняется большой дисперсией ионосферы. Скорость электронной волны уменьшается с уменьшением частоты, а скорость ионной волны — с увеличением частоты.

Чтобы понять характер свистящих атмосфериков, важно, наконец, знать еще об одном свойстве низкочастотных волн. Электронная волна хорошо распространяется в плазме до тех пор, пока ее частота не приближается к собственной частоте вращения электронов вокруг магнитного поля — циклотронной частоте электронов. Вблизи циклотронной частоты возрастает затухание необыкновенной волны — она сильно поглощается плазмой. Это резонансное циклотронное затухание на электронах приводит к обрезанию спектра необыкновенной волны. Аналогично, спектр ионных волн в ионосфере обрезается вследствие сильного резонансного циклотронного затухания на ионах. На частотах, удовлетворяющих циклотронным резонансам плазмы, возникают также благоприятные условия для собственного излучения плазмы — возбуждения колебаний и волн, которые описываются в следующем разделе.

Свистящие атмосферерики (рис. 8) — это сигналы, т. е. пакеты «электронных» волн, возникшие в ионосфере от молний. Вследствие длинных путей распространения этих пакетов волн (все сигналы, показанные на рис. 8, зарегистрированы в противоположном их источнику полушарии) время распространения волн различной частоты значительно отличается. Это объясняет растянутую форму спектра сигналов и увеличение времени запаздывания с уменьшением частоты волны. На вы-

ходе приемника такой пакет волн слышен как сигнал с понижающимся со временем тоном (частотой колебаний) — вот почему он назван свистящим атмосферериком.

Максимальные частоты, на которых наблюдаются электронные свисты, — порядка 15—20 кгц, что обусловлено циклотронными частотами на границе ионосферы в апогее их траектории (20—25 тыс. км). На осциллограмме *б* рис. 8 зарегистрирована группа *н* о с о в ы х свистящих атмосфериков, у которых на определенных частотах время запаздывания сигнала минимальное (эти точки обозначены на рис. 8 буквой «*н*»). На осциллограмме видно, что частоты некоторых сигналов резко обрезаются (буквы «*о*» на рисунке). Теоретический анализ формы свистящих атмосфериков, а именно, расчет носовых частот (точки *н* на рис. 8) и частот, на которых обрезаются пакеты волн (точки *о*), позволяет глубоко диагностировать свойства ионосферы. Это, например, позволило впервые определить во внешней ионосфере, вплоть до ее верхней границы (высота 20—

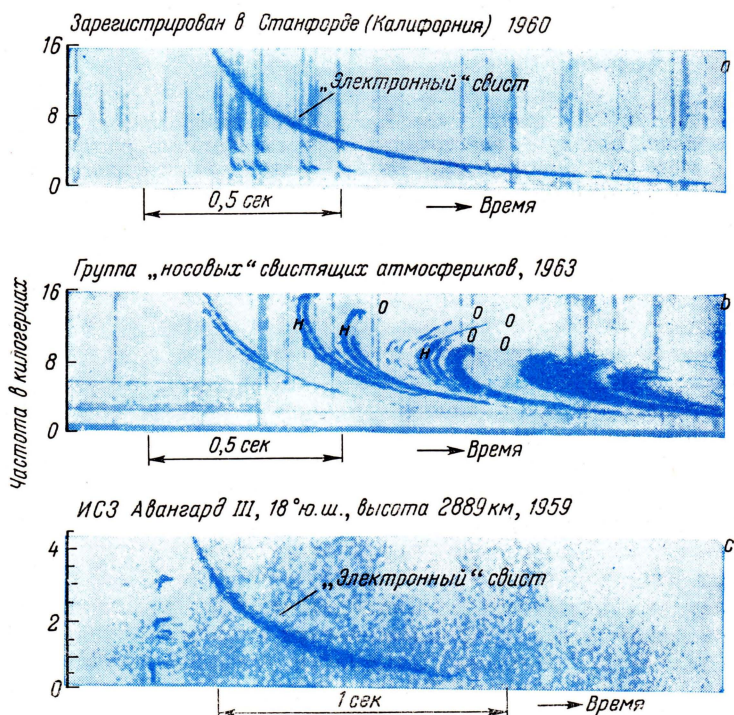


Рис. 8. Свистящие атмосферерики («электронные свисты»), зарегистрированные около земной поверхности (вверху) и на спутнике (внизу)

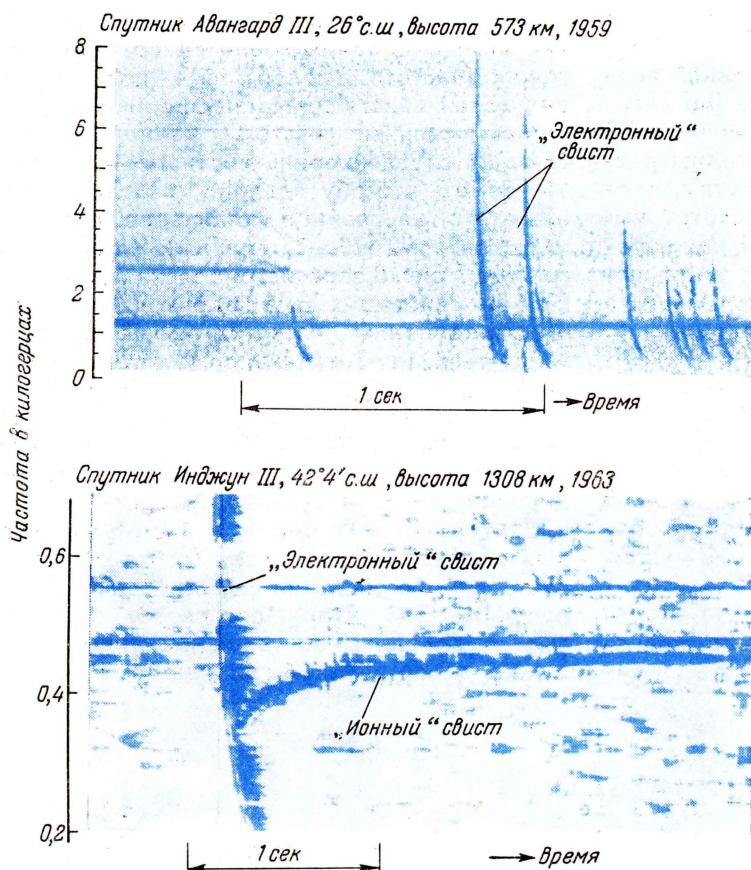


Рис. 9. Свистящие атмосферники, зарегистрированные на спутнике. Вверху — «электронные» свисты, которые распространялись по коротким путям. Внизу — «хвост» электронного свиста на ультранизких частотах и «ионный» свист

25 тыс. км), высотное распределение электронной концентрации, а в последнее время — получить температуру плазмы и распределение скоростей электронов. Эти результаты представляются фундаментальными в исследованиях приземной плазменной оболочки.

Электронные свисты, распространяющиеся по коротким путям, т. е. от источника до высоты, на которой они зарегистрированы в ионосфере с помощью спутников, показаны на рис. 9. Естественно, что в этих случаях время запаздывания изменяется с частотой быстрее. На нижней осциллограмме (рис. 9) электронный свист прослеживается до частоты в 200 гц и менее. Замечательная особенность этой осциллограммы состоит, однако, в том, что на ней зарегистрирована также обыкновенная (ионная) волна, которая обрезается на циклотронной частоте ионов водорода (протонов). Ионные сви-

сты были обнаружены на спутниках лишь в последние два года только на коротких траекториях. Частота, на которой обрезан ионный свист, соответствует высоте спутника (~ 1300 км) и составляет примерно 420 гц. До сих пор не зарегистрированы ионные свисты в противоположном источнику (молнии) полушарии. Естественно, что эти волны, по-видимому, будут обнаружены лишь на частотах в единицы и десятки герц. В апогее траектории таких сигналов (над экватором) ионные циклотронные частоты будут составлять, например на высоте в 20—25 тыс. км, примерно 10—15 гц. Теоретический анализ ионных свистов — весьма тонкий метод получения большой информации о структуре ионосферы. Подобные эксперименты позволяют определять ее состав, отношения концентрации электронов к концентрации ионов разного сорта, напряженность магнитного поля и решать другие задачи, играющие большую роль в исследованиях приземной плазмы.

СОБСТВЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИЗЕМНОЙ ПЛАЗМЫ

Около Земли, наряду с низкочастотными волнами, источник которых известен, наблюдалось уже множество типов волн частотой от единиц герц до многих десятков килогерц, в большой мере еще неизвестного происхождения. Не вызывает сомнения, что эти волны излучаются самой плазмой в ионосфере и, по-видимому, в магнитосфере. Однако многое об этих волнах остается неизвестным. Например, возникают ли они в протяженных областях плазмы, или это есть излучение локализованных ионизированных облаков или движущихся сгустков плазмы? Не исключено, что часто сами излучающие облака также являются волновыми движениями, возникающими в плазме.

Как показывает теория, в плазме, находящейся в магнитном поле, возможно большое множество типов волн, особенно если она неоднородна. Знать тип волн очень важ-

но: это вскрывает, в частности, механизмы неустойчивости плазмы. Однако ответ на этот вопрос до сих пор получен лишь в единичных экспериментах.

Возбуждение собственных колебаний в приземной плазме может быть результатом разнообразных процессов. Под воздействием потоков частиц, падающих на Землю (солнечного ветра), возможно черенковское излучение плазмы или генерация плазмы в условиях, удовлетворяющих циклотронным резонансам, о которых уже упоминалось выше. Могут возникнуть поперечные и продольные волны. Частоты различных видов колебаний тесно связаны со скоростью потоков частиц. Имеется множество указаний, что активность низкочастотных волн, наблюдаемых около Земли, действительно усиливается в периоды полярных сияний или магнитных бурь. Эти факты свидетельствуют о том, что часто волны возникают в результате взаимодействия потоков или пучков частиц с плазмой. Установить, однако, однозначно и прямо меру этого влияния весьма трудно, так как одновременно имеется много и других возможных механизмов, участвующих в возбуждении плазмы, например, боковой относ частиц в неоднородном магнитном поле (дрейф частиц), приводящий к возбуждению дрейфовых волн. Анизотропия температуры плазмы (поперек и вдоль магнитного поля температура не совпадает) также может способствовать ее неустойчивости.

Таким образом, достаточно тонкие и глубокие исследования низкочастотных волн в приземной и межпланетной плазме определяют не только основные ее параметры, но служат также ключом для диагностики механизмов ее неустойчивости, процессов взаимодействия плазмы с потоками частиц, с падающими на нее электромагнитными волнами и т. д.

Решение этих проблем, практическая важность которых весьма многообразна, является одной из наиболее интересных задач современной физики. Мы находимся лишь в начальной стадии этого широкого поля исследований.

Следуя цели этого очерка, опишем здесь лишь некоторые экспериментальные факты — типы наблюдаемых УНЧ и СНЧ волн, возникающих в приземной плазме.

Две верхние осциллограммы на рис. 10 показывают, что СНЧ излучение регистрируется в ряде случаев одновременно в широком диапазоне частот в течение длительного времени (несколько часов подряд). Это излучение («белый шум»), показанное на осциллограмме «а», охватывает диапазон частот от сотен герц до 30—40 кгц и выше. Часто оно наблюдается в более узком интервале в 5—10 кгц, что видно на осциллограмме «б» (рис. 10). По-видимому,

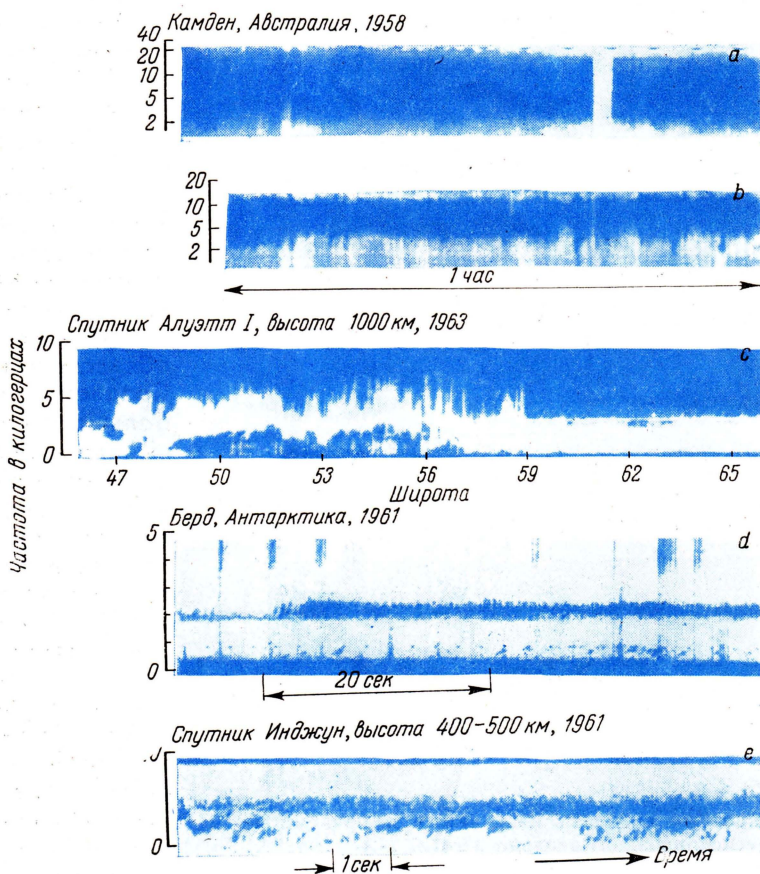


Рис. 10. Непрерывное излучение приземной плазмы, зарегистрированное около земной поверхности (а и б) и на спутниках (с, д и е)

в ряде случаев такое излучение «непрерывного типа» возникает в протяженных областях. На осциллограмме «с» (рис. 10) зарегистрированы низкочастотные колебания в интервале частот порядка 5 кгц вдоль орбиты спутника Алуэтт при его прохождении от 47 до 62° широты. Непрерывное излучение бывает часто узкополосным — шириной в 1—2 кгц. Такие примеры показаны на осциллограммах «d» и «e» (рис. 10). На осциллограмме «d» это излучение со-

стоит из дискретных, прерывистых пакетов волн. Дискретные сигналы весьма разнообразного типа (длительностью лишь от долей секунды до нескольких секунд) показаны на рис. 11. Эти излучения характерны тем, что частота наблюдаемых волн в различных случаях растет, падает или бывает постоянной в течение периода сигнала (см. *a*, *b* и *c* на рис. 11). В некоторых опытах наблюдается последовательно или одновременно несколько сигналов дискретного типа. Механизм их генерации не удавалось до сих пор уверенно установить. Вместе с тем в ряде случаев очевидно, что в этом процессе участвуют электромагнитные волны свистящих атмосфериков, падающих на ионосферу. Осциллограмма «d» на рис. 11 соответствует такому случаю. На ней от свистящего атмосферика (1) как бы отпочковываются сигналы дискретного типа (2).

Различные сложного вида сигналы, излучаемые в ионосфере, показаны на рис. 12. Они имеют разнообразную форму и наблюдаются часто. Всплески этого типа излучения бывают вообще причудливой формы, часто они следуют друг за другом цепочкой через равные интервалы времени.

Интересный факт, который остается до сих пор не объясненным, состоит в том, что многообразные излучения плазмы, рассмотренные выше, обрываются на частоте в несколько сотен герц. Затем регулярно наблюдаются интенсивные волны частотой в единицы и доли герц. Часто эти УНЧ волны одновременно регистрируются в протяженных областях северного и южного полушарий. Создается впечатление, из анализа уже большого количества данных, что УНЧ волны захватываются в приземный волновод на северных широтах и затем распространяются вокруг Земли. Это доказывается, например, тем, что осциллограммы одинакового типа получаются в пунктах, удаленных друг от друга даже на много тысяч километров. Эти обстоятельства очень важны. С одной стороны, они указывают на то, что УНЧ волны генерируются в зонах северных сияний, где велика активность падающих на Землю потоков. С другой стороны, наоборот, возможно, что УНЧ волны возникают на очень далеких расстояниях от Земли в магнитосфере и поэтому, направляясь магнитным полем Земли, курсируют вдоль высокоширотных силовых линий с высоким апогеем. Пакеты УНЧ волн частотой 1—2 и

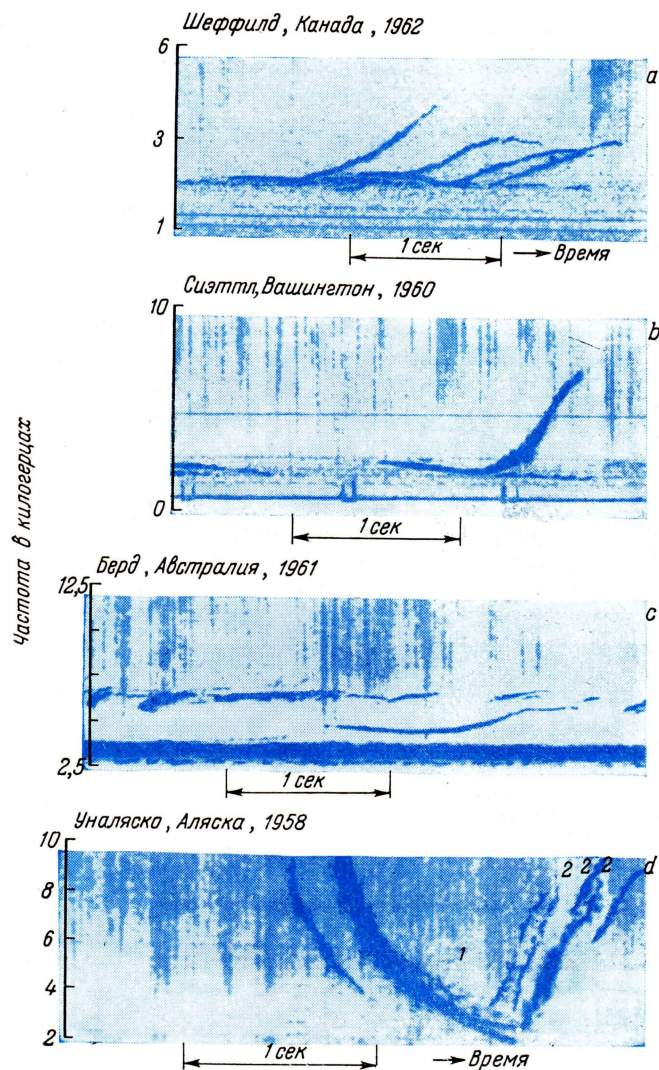


Рис. 11. Дискретные сигналы, излучаемые в приземной плазме и зарегистрированные около земной поверхности. На осциллограмме „d“ видно, что дискретные сигналы „2“ связаны со свистящим атмосфериком „1“

0,3—0,5 гц, зарегистрированные около Земли, показаны на рис. 13. Наблюдаемое излучение состоит из изолированных дискретных сигналов — наклонные темные полоски. По их наклону, т. е. по зависимости частоты от времени, можно заключить, что это ионные волны. Повторяемость пакетов волн связана с тем, что они курсируют из одного полушария в другое вдоль магнитного поля Земли, отражаясь многократно в ионосфере или около Земли в исходных «точках» силовых линий. В ряде опытов регистрировались одновременно УНЧ волны одинакового типа и характера в магнитосопреженных точках северного и южного полушарий, даже в течение многих часов. Рассматриваемые волны относительно весьма интенсивны. Об этом свидетельствует хотя бы тот факт, что они распространяются по очень длинным путям — многократно вдоль силовых линий, — теряя на каждом единичном пути часть энергии. Потоки их энергии еще недостаточно точно измерены. По различным оценкам, они достигают 10^{-9} — 10^{-8} вт/см² · гц около земной поверхности. Это в триллионы раз больше потоков на других частотах. Какова интенсивность этих волн в самой ионосфере или магнитосфере, в областях, где они возбуждаются, неизвестно. Отсутствуют результаты подобных экспериментов. Именно волны столь низкой частоты могут возникать в межпланетной среде и в далеком Космосе. Имеются основания предполагать, что роль этих крупномасштабных волн в различных явлениях, наблюдаемых около Земли, может оказаться существенной. Их участие в ряде процессов, возможно, «маскирует» происходящие в межпланетной среде и в космосе явления и не позволяет получать истинное о них представление около земной поверхности. Будущие опыты и развитие теории позволят выяснить, насколько верно это предположение. Однако независимо от этого, изучение низкочастотных волн, излучаемых источниками естественного происхождения, как мы видели, играет и будет играть большую, фундаментальную роль в современной физике как великолепное средство диагностики структуры и свойств плазмы, в частности около планет, диагностики происходящих в плазме явлений и процессов взаимодействия плазмы с разнообразного типа потоками и волнами.

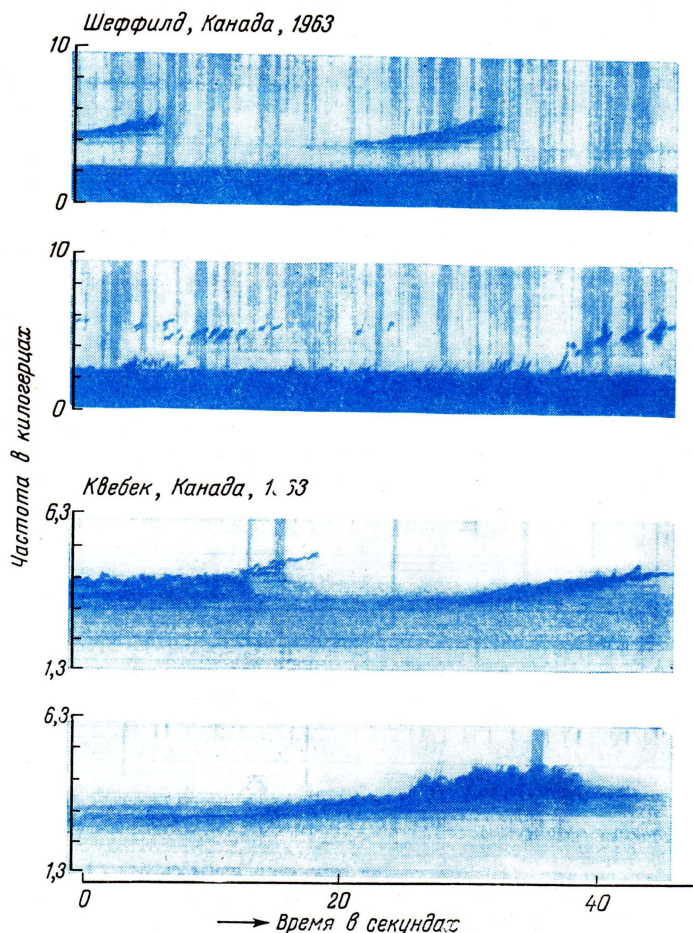


Рис. 12. Всплески излучения приземной плазмы, зарегистрированные около земной поверхности

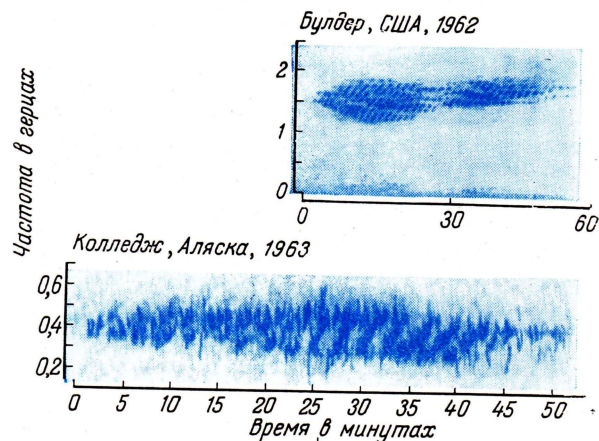


Рис. 13. Пакеты УНЧ волн, излученные в приземной плазме и зарегистрированные около земной поверхности



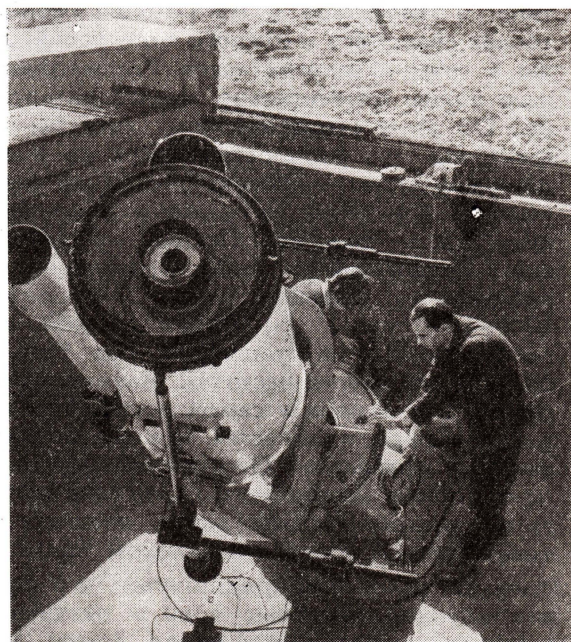
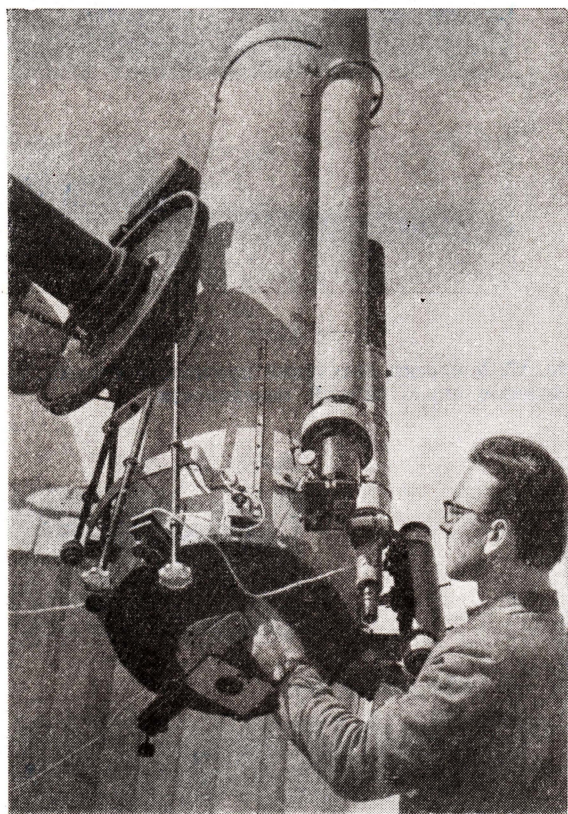
1950 г. Организована Горьковская широтная станция, получившая в 1956 г. имя ее основателя — К. К. Дубровского (1888—1956).

В Алма-Ате основан Астрофизический институт АН КазССР (подробно о нем см. «Земля и Вселенная», № 6, 1966).

1951 г. Вышел первый том второго издания «Курса астрофизики и звездной астрономии» (второй том был издан в 1962 г., третий — в 1964 г.).

Открытие В. В. Виткевичем сверхкороны Солнца с помощью предложенного им метода радионаблюдений покрытия Крабовидной туманности Солнцем.

ХРОНИКА ФОТОДОКУМЕНТЫ



Д. А. Рожковский и К. Джакупова у 50-сантиметрового телескопа обсерватории Астрофизического института АН КазССР

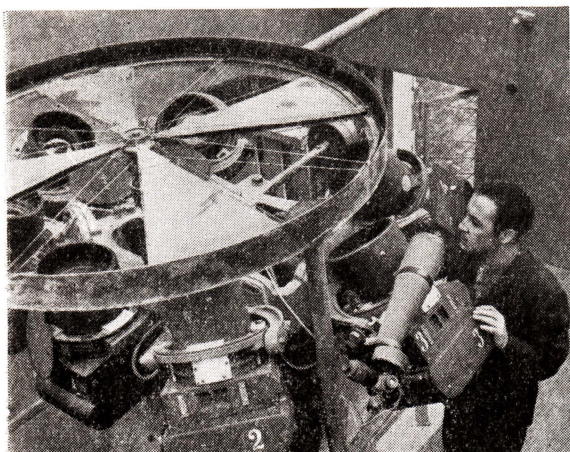
Отделение «Майка» Одесской обсерватории. Н. А. Мисский у 17-дюймового рефлектора

1952 г. Вышел в свет «Атлас газово-пылевых туманностей» В. Г. Фесенкова и Д. А. Рожковского. Фотографии для «Атласа» получены на первом советском 50-сантиметровом менисковом телескопе системы Максутова в Алма-Атинской обсерватории АН КазССР.

13 марта. Присуждение Государственных премий А. А. Изотову и Ф. Н. Красовскому за исследования формы и размеров Земли, Т. Н. Кары-Ниязову за книгу «Астрономическая школа Улугбека», Е. Л. Кринову за работы в области метеоритики.

* Окончание. Начало см. «Земля и Вселенная», № 1—5, 1967 г.

ИЗ ИСТОРИИ СОВЕТСКОЙ АСТРОНОМИИ (1950—1967)



Метеорный патруль Института астрофизики АН ТаджССР. У прибора П. Б. Бабаджанов

На Ташкентской обсерватории вступил в строй двухмηνисковый стандартный фотогелиограф.

На Харьковской астрономической обсерватории установлены фотогелиограф Д. Д. Максутава и П. В. Добычина и 5-метровый коронограф.

1953 г. Развивая идеи А. Эддингтона, С. А. Жевакин предложил механизм (ионизация и диссипация $H\alpha$ в поверхностной зоне звезды), обеспечивающий автоколебания пульсирующих переменных звезд (т. е. создал теорию пульсации).

Начал выходить Реферативный журнал «Астрономия и геодезия» (РЖАстр). С 1963 г. разделен на два: «Астрономия» и «Геодезия», (в 1965 г. стал отдельно издаваться Реферативный журнал «Космические исследования»).

1955 г. 25—31 января. В Ленинграде состоялся 2-й съезд ВАГО (115 делегатов от 21 отделения). Президентом ВАГО вновь избран А. А. Михайлов.

1956 г. Выход в свет монографии В. В. Соболева «Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет».

На Астрономической обсерватории АН ТаджССР начаты систематические радиолокационные наблюдения метеоров.

Основана Шемахинская астрофизическая обсерватория АН АзербССР. Первым на горе Пиркули (1400 м) установлен хромосферно-фотосферный телескоп.

1957 г. На обсерватории Астрономического сектора АН ЛатвССР в Балдоне установлен радиоинтерферометр для наблюдений на волне 1,5 м.

22 апреля. Присуждение Ленинской премии Б. К. Иоаннисиани за разработку конструкций ряда крупных астрономических инструментов.

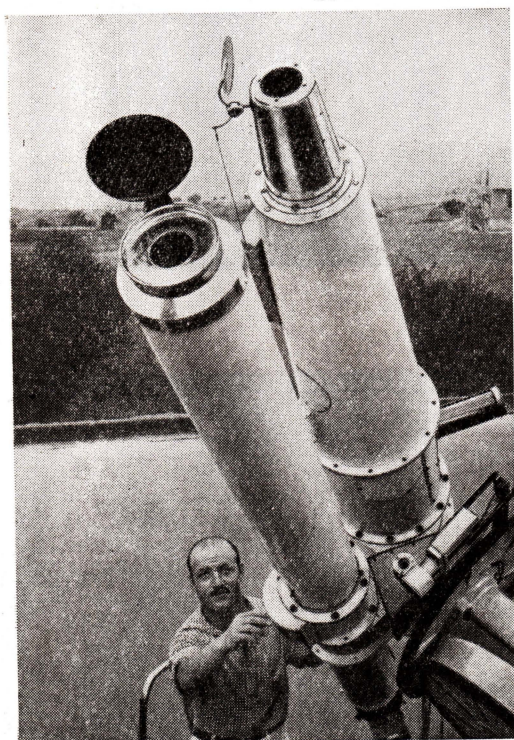
На Ташкентской астрономической обсерватории установлен хромосферно-фотосферный телескоп.

На Китабской широтной станции вступил в строй отечественный зенит-телескоп.

Астросовету АН СССР поручена организация сети станций оптических наблюдений ИСЗ, запуск которых был предусмотрен программой МГГ в СССР и США.

1 июля. Начало Международного геофизического года (МГГ), в котором приняли активное участие советские ученые-астрономы и геофизики.

При Институте радиофизики и электроники АН УССР организована Радиоастрономическая обсерватория (в 80 км от Харькова).



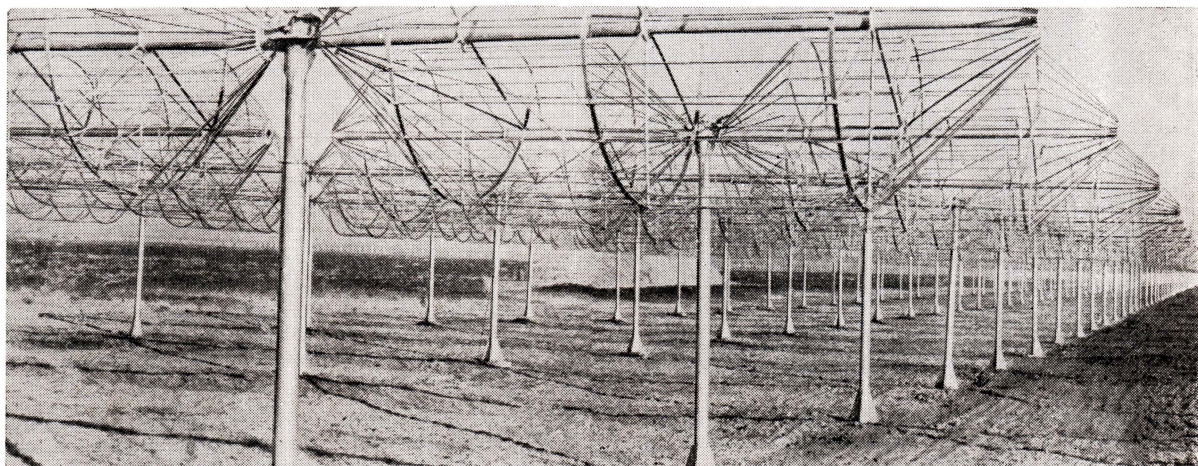
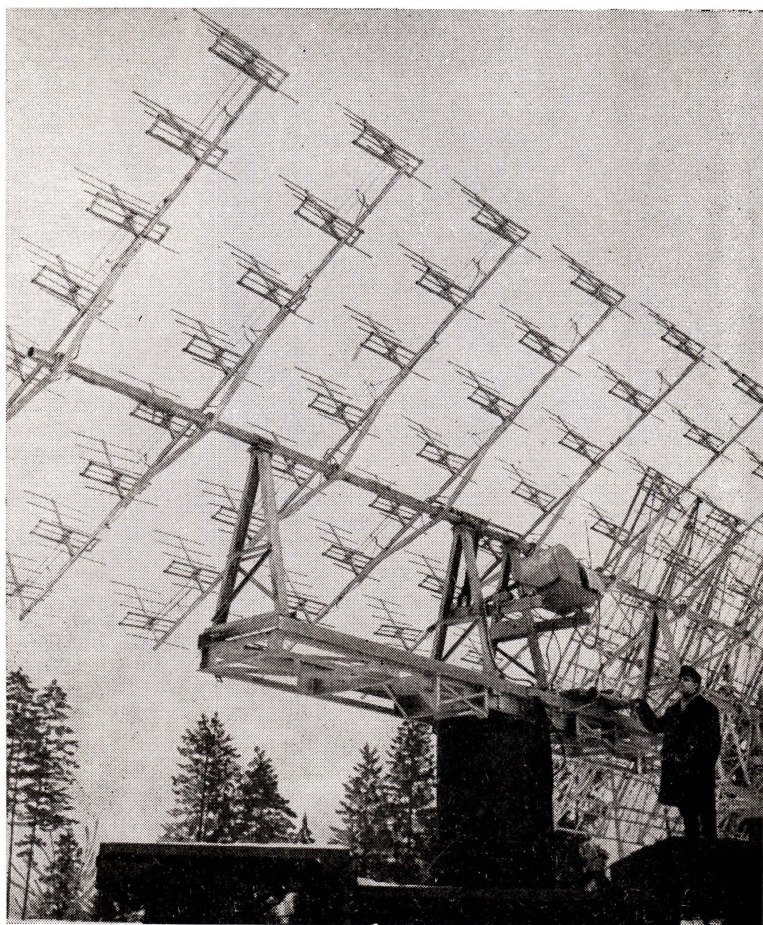
Хромосферно-фотосферный телескоп Шемахинской астрофизической обсерватории. У инструмента К. Гусейнов

ИЗ ИСТОРИИ СОВЕТСКОЙ АСТРОНОМИИ (1950—1967)



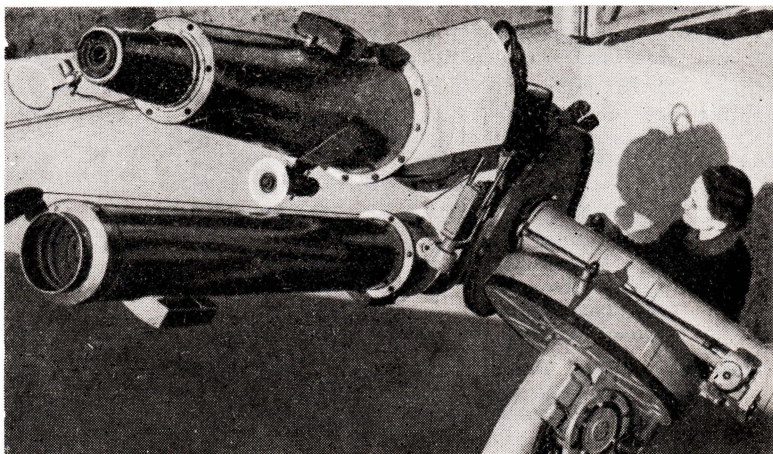
Лауреат Ленинской премии
Б. К. Иоаннисиани

Антенны радиоинтерферометра
для изучения радиоизлучения
Солнца на обсерватории в Балдо-
не (АН ЛатвССР) ▶

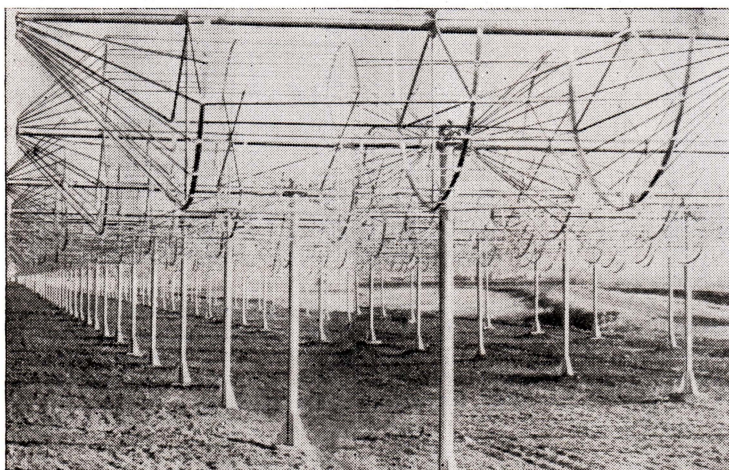
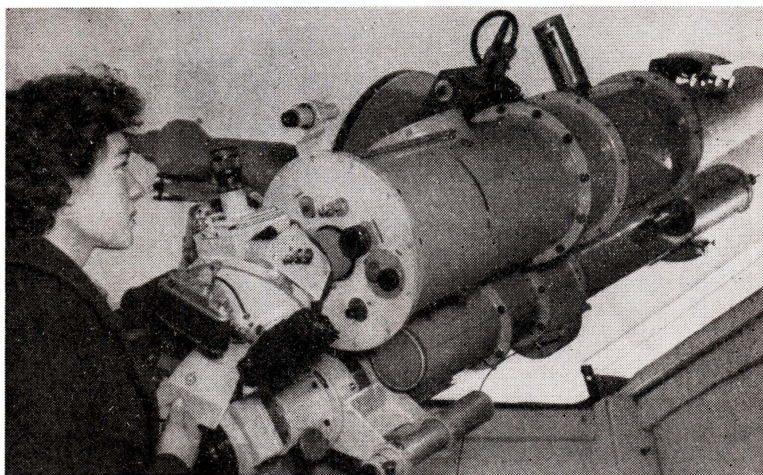


ИЗ ИСТОРИИ СОВЕТСКОЙ АСТРОНОМИИ (1950—1967)

К. Кулешова у хромосферно-фотосферного телескопа Ташкентской обсерватории



Научно-исследовательский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн. На хромосферно-фотосферном телескопе З. А. Романова наблюдает Солнце по программе МГТ



Институт радиофизики и электроники АН УССР. Интерференционная система с электрическим качанием луча (УТР-2)

ИЗ ИСТОРИИ СОВЕТСКОЙ АСТРОНОМИИ [1950—1967]

4 октября. Запуском в СССР первого в мире искусственного спутника Земли началась космическая эра.

1958 г. Близ Серпухова на Окской радиоастрономической обсерватории Физического института имени П. Н. Лебедева АН СССР установлен 22-метровый параболический радиотелескоп для наблюдений на коротких волнах.

Выход в свет монографий: С. К. Всехсвятского — «Физические характеристики комет», И. С. Астаповича — «Метеорные явления в атмосфере Земли», К. Ф. Огородникова — «Динамика звездных систем».

1959 г. 1 ноября. Открытие Ленинградского планетария. К 50-летию Октября в СССР имеются более 70 больших и малых планетариев.

1960 г. Выход в свет монографии М. С. Эйгенсона «Внегалактическая астрономия».

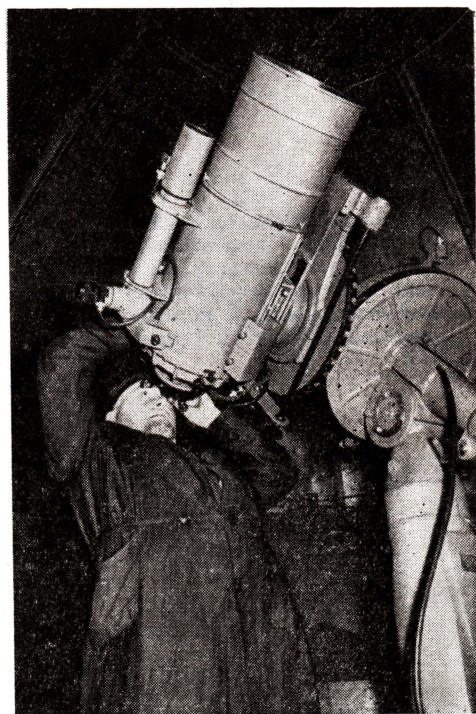
6—11 апреля. В Киеве состоялся 3-й съезд ВАГО (300 представителей от 35 отделений). Президентом ВАГО избран Д. Я. Мартынов.

Вышел в свет «Атлас обратной стороны Луны», составленный под руководством Ю. Н. Липского, А. А. Михайлова и Н. П. Барабашова. Материалы для «Атласа» были переданы на Землю с помощью радиотелевизионной системы АМС «Луна-3».

1961—1966 гг. Под руководством академика В. А. Котельникова сотрудники Института радиотехники и электроники АН СССР провели успешные эксперименты по локализации Венеры, Меркурия, Юпитера и Марса. Уточнено значение астрономической единицы, определен период и направление вращения Венеры (Ленинская премия 1964 г.).



Дюралевая чаша антенны 22-метрового радиотелескопа Окской радиоастрономической обсерватории (научный руководитель А. Е. Саломинович, главный конструктор Д. Д. Калачев)



Видный советский исследователь комет С. К. Всехсвятский у менискового телескопа, предназначенного для специальных наблюдений планет и комет (обсерватория Киевского университета)

ИЗ ИСТОРИИ СОВЕТСКОЙ АСТРОНОМИИ [1950—1967]

1963 г. 21 апреля. Присуждение Ленинской премии М. С. Молоденскому за разработку метода определения гравитационного поля и фигуры Земли и теории приливов в земной коре.

Выход в свет монографии В. Г. Горбацкого и И. Н. Минина «Нестационарные звезды».

1964 г. 20—23 мая. Первое Всесоюзное совещание по проблемам внеземных цивилизаций и средствам установления контакта с ними.

14—16 сентября. Официальное открытие новой Тартуской астрофизической обсерватории имени В. Струве в Тыравере близ Тарту (ЭстССР).

1964—1966 гг. Разработка В. Л. Страйжисом (Обсерватория Вильнюсского университета) новой астрофотометрической системы.

1965 г. В Главной астрономической обсерватории АН УССР создан «Сводный каталог пространственных координат 160 базисных точек» видимой стороны Луны.

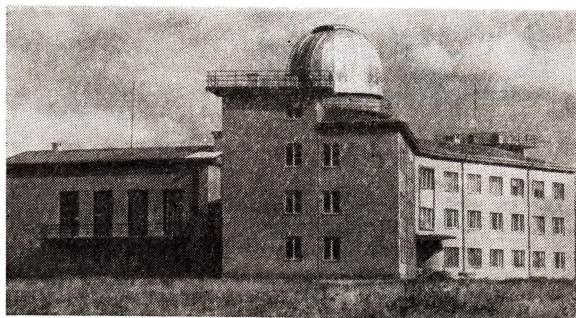
На Шемахинской обсерватории АН АзербССР установлен рефлектор Шмидта 90/125 см.

26—30 октября. 4-й съезд ВАГО в Риге (400 представителей от 44 отделений). Президентом ВАГО вновь избран Д. Я. Мартынов.

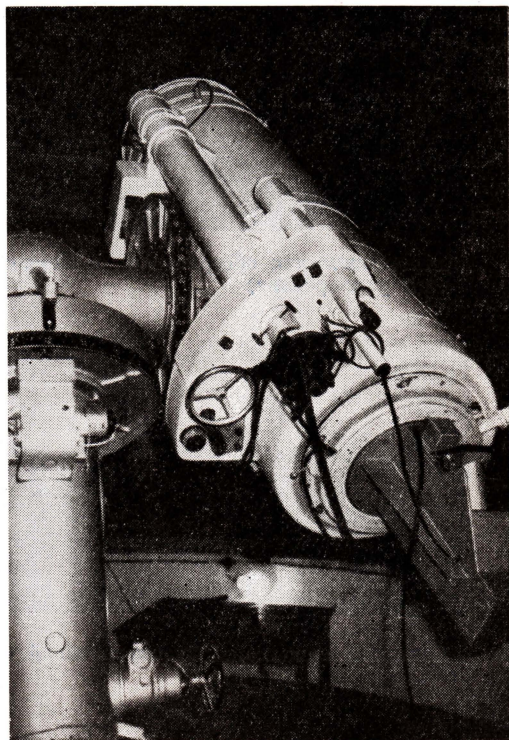
1966 г. На Шемахинской обсерватории АН АзербССР смонтирован второй по величине в СССР 2-метровый рефлектор Цейсса (ГДР).

Июнь. Открытие Коуровской обсерватории Уральского университета (в 60 км от Свердловска).

1967 г. март — июнь. В Гиссарской обсерватории Института астрофизики АН ТаджССР (13 км от Душанбе) установлены: 70-сантиметровый рефлектор, 400-миллиметровый астрограф Цейсса и 200-миллиметровый рефрактор для наблюдений переменных звезд и комет.



Главное здание Тартуской астрофизической обсерватории АН ЭстССР в Тыравере



70-сантиметровый рефлектор Обсерватории в Тыравере

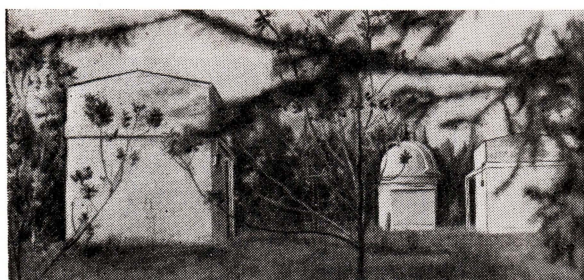


ГАО АН УССР. Директор обсерватории член-корреспондент АН УССР Е. П. Федоров (слева) и И. К. Коваль у 70-сантиметрового рефлектора обсерватории

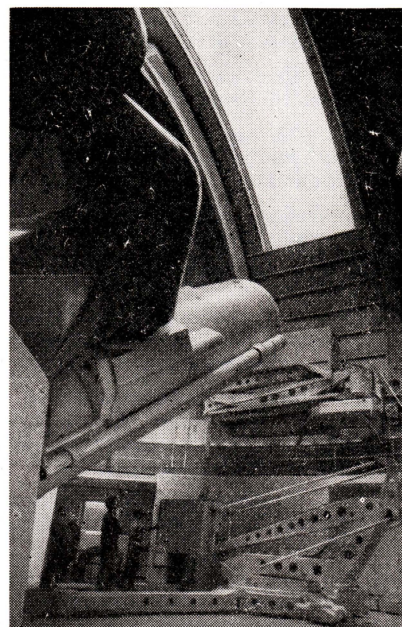


22 апреля. Институт физики и астрономии АН ЭстССР награжден орденом Трудового Красного Знамени за успехи в развитии важнейших проблем физики и астрономии и подготовку высококвалифицированных научных кадров.

Завершена постройка Звенигородской экспериментальной станции Астросовета АН СССР (заведующий А. М. Лозинский).



Астрономическая обсерватория в Коуровке (Уральский университет)



Шемахинская обсерватория АН АзербССР. 2-метровый рефлектор в башне на горе Пиркули



Башни и павильоны Звенигородской опытной базы Астросовета АН СССР.

На этом заканчивается публикация фотодокументов и хроники, посвященных развитию астрономии в нашей стране за последние 50 лет. Подробнее с деятельностью советских астрономических учреждений можно будет познакомиться в «Альбоме истории отечественной астрономии», составляемом В. Л. Ченакалом и П. Г. Куликовским. Чтобы сделать «Альбом» более полным, просим читателей журнала «Земля и Вселенная» присылать в Комиссию по истории астрономии Астросовета АН СССР (Москва, В-312, ул. Вавилова, 34) фотографии обсерваторий и инструментов, портреты ученых, групповые фотографии и т. д., а также материалы для хроники важнейших событий отечественной астрономии.

П. Г. КУЛИКОВСКИЙ,
доцент



Директор Института физики и астрономии АН ЭстССР академик АН ЭстССР А. Я. Киппер около эстонской мозаичной карты звездного неба на обсерватории в Тярвэре

ВОПРОСЫ ПЛАНЕТНОЙ КОСМОГОНИИ НАШИХ ДНЕЙ

*Б. Ю. ЛЕВИН,
доктор физико-математических наук,
заведующий отделом эволюции Земли Института физики Земли АН СССР*

Космогонисты думают, что планетная система образовалась из околосолнечного газово-пылевого облака. О происхождении облака продолжаются споры. Сперва из пылевой компоненты облака образовались тела размером с современные астероиды. Планеты земной группы аккумуляровались из этих тел, а планеты-гиганты — Юпитер и Сатурн — на заключительном этапе своего роста, вероятно, вбирали также и газ.

Почти четверть века отделяет нас от эпохи возрождения небулярных гипотез происхождения планетной системы — гипотез, рассматривающих образование планет из рассеянного вещества. Начало этому возрождению было положено в 1943—1944 гг. работами академика О. Ю. Шмидта в Советском Союзе и К. Вейцеккера в Германии. И Шмидт и Вейцеккер предполагали, что планеты формировались путем постепенного роста, в результате присоединения рассеянного вещества к первоначально небольшому «зародышам» планет. В отличие от этого Дж. Койпер (США) около 1950 г. выдвинул идею об образовании планет из массивных протопланет, на которые, по его предположению, должно было распасться протопланетное облако. Однако идея Койпера оказалась ошибочной и, начиная с конца 50-х годов, господствующее положение во всей мировой науке заняло представление о постепенной аккумуляции планет. При этом имеется в виду, что Земля и другие планеты земного типа аккумуляровались из твердых тел и частиц, тогда как не исключено, что рост Юпитера и Сатурна, содержащих много водорода, а быть может, и остальных планет-гигантов, происходил и путем присоединения газового вещества.

Это представление разделяется и разрабатывается Ф. Хойлом (Англия), Т. Голдом

и Г. Юри (США), Э. Шацманом (Франция) и другими. В Советском Союзе разработка вопросов планетной космогонии сосредоточена в Институте физики Земли имени О. Ю. Шмидта Академии наук СССР, где продолжает работать небольшая группа ученых, созданная еще О. Ю. Шмидтом.

Рассмотрим современное состояние отдельных вопросов планетной космогонии.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПРОТОПЛАНЕТНОГО ОБЛАКА. Вопрос о происхождении протопланетного облака является связующим звеном между планетной и звездной космогонией. Решение этого вопроса сталкивается с большими трудностями: с одной стороны, делаются лишь первые шаги в решении проблемы происхождения звезд и, в частности, Солнца, а с другой стороны, последующая эволюция протопланетного облака в значительной мере стерла следы его происхождения. Из характеристик современной солнечной системы наиболее тесно связано с происхождением облака удивительное распределение момента количества движения между Солнцем и планетами: планеты, суммарная масса которых почти в 1 000 раз меньше массы Солнца, несут в своем орбитальном движении более 98% общего момента системы.

10—15 лет назад единственной гипотезой происхождения протопланетного облака, опиравшейся на какой-то конкретный механизм его образования, была гипотеза о его захвате уже сформировавшимся Солнцем, выдвинутая О. Ю. Шмидтом для объяснения распределения момента количества движения между Солнцем и планетами*. Имелся в виду либо гравитационный захват, когда перераспределение энергии и момента количества движения, необходимое для захвата, осуществляется при помощи тяготения какого-то третьего тела, либо захват в результате неупругих соударений пылевых частиц и диссипативных явлений в сталкивающихся потоках газа, обтекавших Солнце при его не вполне симметричном прохождении сквозь газово-пылевое облако.

Недостатком гипотезы захвата является то, что в ней остается непонятным, почему Солнце вращается в направлении планетных движений, причем экватор его наклонен всего на 6° к центральной плоскости планетной системы.

Некоторые считают недостатком этой гипотезы и то, что вероятность захвата сравнительно мала, хотя она и много больше вероятности тесного сближения двух звезд, предполагавшегося в гипотезе Джинса. Однако никто не знает, сколько планетных систем существует в нашей Галактике. Наоборот, их число оценивается в первую очередь исходя из того или иного представления о механизме их образования.

Своеобразный вариант гипотезы захвата — гипотеза шведского физика Х. Альвена (1954 г.), в которой предполагается, что в эпоху образования планет Солнце обладало сильным магнитным полем. Вращаясь вместе с Солнцем, поле увлекло во вращательное движение ионизованное газовое вещество из межзвездного пространства, падавшее к Солнцу под действием его притяжения**. Из-за искусственности предположения, что падающие к Солнцу газы посте-

пенно ионизовались, разделяясь по химическому составу, гипотеза Альвена не получила признания. Но идея о возможности торможения вращения Солнца путем передачи с помощью магнитного поля момента количества движения частично ионизованному околосолнечному облаку представляется весьма перспективной для объяснения распределения момента между Солнцем и планетами в рамках гипотез о совместном происхождении Солнца и протопланетного облака.

Разработка представлений о формировании звезд путем сжатия сгущений в туманностях позволила несколько конкретизировать гипотезу о совместном образовании Солнца и протопланетного облака, которая раньше высказывалась в совершенно качественной форме. Существуют два варианта этой гипотезы: один предложен Ф. Хойлом (1958 г.), а другой — А. Камероном (1962 г.).

Стремясь объяснить образование именно нашей солнечной системы, Хойл предполагает, что на заключительной стадии сжатия протосолнца — сгущения, образовавшего Солнце, — его масса и момент количества движения равнялись массе и моменту Солнца плюс протопланетное облако (учитывая и ту часть облака, которая рассеялась в пространстве и не вошла в состав планет). Хотя дифференциальное вращение Галактики должно было сообщить сгущению больший, чем нужно, момент, Хойл считает, что избыток момента еще на ранней стадии сжатия был передан другим туманностям при помощи межзвездных магнитных полей.

В таком случае, при сжатии протосолнца, когда его размеры сократились до поперечника орбиты Меркурия, наступила ротационная неустойчивость: центробежная сила на экваторе уравновесила притяжение и, в духе гипотезы Лапласа, часть вещества перестает участвовать в дальнейшем сжатии, образуя протопланетное облако. Если бы отделение вещества продолжалось и дальше, вплоть до завершения сжатия протосолнца, в облако перешла бы большая часть массы. Но этого не произошло. Отделившиеся газы были частично ионизованы, и потому магнитное поле протосолнца создало «сцепление» между протосолнцем и отделившимся веществом (рис. 1). Как только протосолнце в ходе дальнейшего сжатия стало вращаться быстрее отделившихся газов, силовые линии закрутились в спирали

* Первоначально О. Ю. Шмидт предполагал захват роя тел, а впоследствии, после работы Л. Э. Гуревича и А. И. Лебединского (1950 г.), выяснивших, что рой тел должен был образоваться в окрестностях Солнца из газово-пылевого облака, — захват протопланетного облака.

** В гипотезе Альвена предполагается, что и образование планет из протопланетного облака протекало под действием электромагнитных сил.

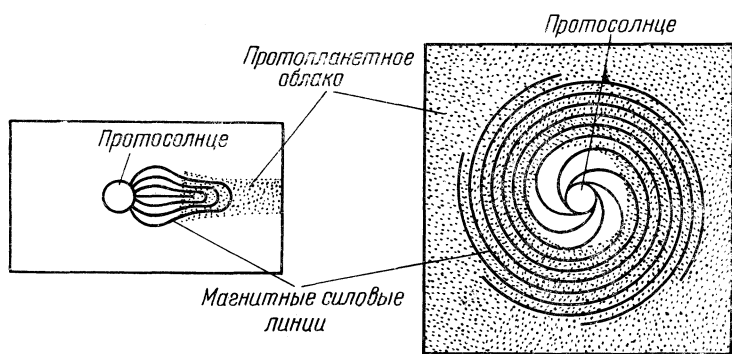


Рис. 1. Магнитное сцепление протосолнца и внутреннего края протопланетного облака (по Хойлу). Слева — разрез, перпендикулярный центральной плоскости облака; справа — проекция на центральную плоскость облака

и началась передача момента количества движения от протосолнца газам. Это влекло за собой торможение вращения протосолнца и в то же время создавало тенденцию к отодвиганию газов от него. Торможение вращения протосолнца предотвратило дальнейшее отделение вещества. В результате масса протопланетного облака оказалась очень малой по сравнению с массой Солнца, но магнитное сцепление передало облаку почти весь момент количества движения, имевшийся у туманного сгущения на заключительной стадии его сжатия.

Согласно Хойлу, магнитное сцепление связывало протосолнце с внутренней кромкой отделившегося вещества, и для того, чтобы отделившееся вещество распространилось на все пространство, занятое ныне планетами, должна была происходить передача момента количества движения от внутренней кромки остальному веществу. Хойл ссылается на наличие турбулентного трения, но, как показали ранее В. С. Сафронов и Е. Л. Рускол (1957 г.), вращение протопланетного облака было устойчивым, и в нем не должна была возникнуть турбулентность*.

Еще одна трудность гипотезы Хойла заключается в том, что отделившиеся от протосолнца горячие газы должны были быстро остыть, нелетучие компоненты — конденсироваться в пыль и затем аккумулироваться

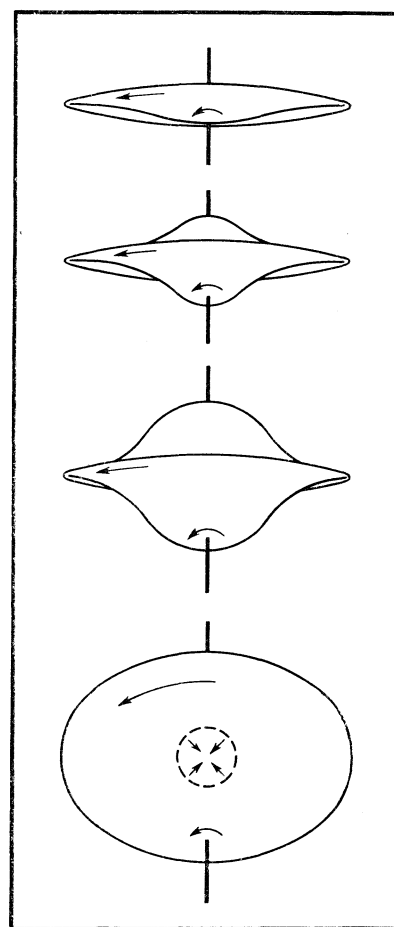


Рис. 2. Начальная стадия отделения протопланетного облака от массивного быстро вращающегося протосолнца (по Камерону)

в более крупные частички. Необходимо, чтобы не только газ, но и твердые пылинки, и частицы распространились по всему пространству современной планетной системы. Как и почему это произошло, гипотеза Хойла фактически не объясняет.

В отличие от Хойла, рассматривавшего сжатие сгущения с массой и моментом количества движения, лишь немногим большими массы и момента солнечной системы, Камерон рассматривает массивное сгущение и полагает, что оно вплоть до заключительной стадии сжатия сохранило большой момент, приобретенный от вращения Галактики. В этом случае отделение вещества начинается при гораздо большем радиусе сгущения — 100—200 а. е. Отделение про-

* Исследование В. С. Сафронова и Е. Л. Рускол было предпринято в связи с тем, что К. Вейцеккер выдвинул идею о важной роли турбулентности в протопланетном облаке, и эта идея была затем подхвачена Тер-Хааром и Койпером.

должается и в ходе дальнейшего сжатия, так что в облако переходит большая часть массы, а в центре остается лишь небольшая масса, много меньше массы современного Солнца (рис. 2). Затем часть вещества из внутренней зоны облака выпадает на протосолнце, доводя его массу до современной, а из более внешних зон значительная часть вещества рассеивается в пространстве. Менее чем тысячная доля начальной массы остается в облаке и образует планеты. Как возможность выпадения значительной массы вещества из облака на протосолнце, так и возможность рассеяния еще большей массы в пространстве недостаточно обоснованы Камероном. Поэтому его вариант гипотезы совместного образования Солнца и протопланетного облака представляется более далеким от истины, чем вариант Хойла.

Таким образом, в настоящее время нет ни одной достаточно полной и обоснованной гипотезы образования протопланетного облака. Это создает огромные трудности при изучении начального этапа его дальнейшей эволюции.

**ПЕРВЫЙ ЭТАП ЭВОЛЮЦИИ ПРОТОПЛА-
НЕТНОГО ВЕЩЕСТВА.** Неясность происхождения протопланетного облака заставила исследователей рассмотреть некоторые идеализированные его модели, позволяющие составить представление о тех эволюционных тенденциях, которые существовали в реальном облаке. Главная идеализация заключается в том, что с самого начала предполагается существование Солнца и протопланетного облака, т. е. как бы мгновенное образование облака. На самом деле, при любом механизме захвата облака и при любом варианте совместного происхождения Солнца и облака длительность процесса образования должна была составлять не менее нескольких тысяч, а возможно, и миллионов лет.

Если процесс образования облака был таков, что в нем первоначально существовала турбулентность, то она должна была затухнуть вскоре после исчезновения источника возмущений, поддерживавшего ее. Затухание турбулентности происходит за несколько оборотов вокруг Солнца рассматриваемой зоны облака, т. е. за несколько лет вблизи внутреннего края облака, где период обращения порядка года, и за несколько тысяч лет вблизи его внешнего края, где

период обращения сотни лет (В. С. Сафронов и Е. Л. Рускол, 1957 г.).

Как в случае захвата Солнцем холодного газово-пылевого вещества, так и в случае конденсации пыли в остывающих горячих газах, отделившихся от протосолнца, первоначально газ и пыль были почти равномерно перемешаны по всему объему облака (в особенности, если в нем вначале была турбулентность). Вещество облака занимало уплощенный, но все же весьма толстый объем (см. рис. 3, а). Газовая компонента вследствие больших скоростей хаотического движения молекул оставалась и дальше распределенной по этому объему, тогда как пылинки, хаотические скорости которых гасились трением о газ и взаимными неупругими столкновениями, должны были оседать к центральной плоскости обла-

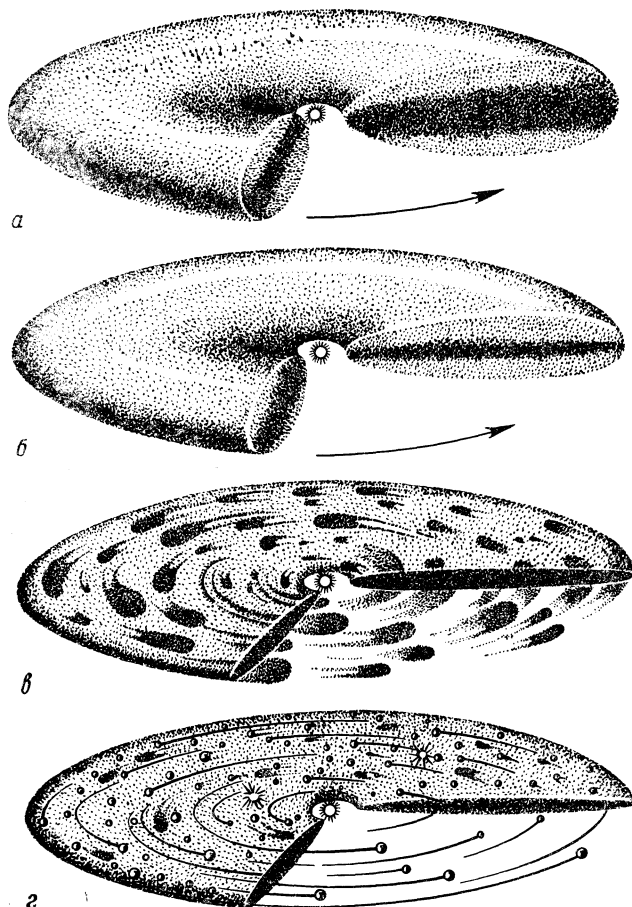


Рис. 3. Уплотнение пылевой компоненты протопланетного облака и образование из нее множества промежуточных (астероидных) тел

ка, образуя тонкий диск с повышенной плотностью вещества (рис. 3,б).

В облаке, спокойно вращающемся вокруг Солнца, время оседания пыли в диск того же порядка, как и время затухания турбулентных движений (В. С. Сафронов и Е. Л. Рускол, 1957 г.), т. е. много меньше длительности процесса образования протопланетного облака. Следовательно, ко времени окончания этого процесса собирание пыли к центральной плоскости должно было заметно продвинуться вперед, в особенности в тех частях облака, которые сформировались первыми.

Дальнейший ход эволюции облака зависел от степени затухания хаотических скоростей пылинок, определяющей степень уплотнения и уплотнения пылевого слоя. Если хаотические скорости могли сократиться до нескольких сантиметров в секунду в зоне планет земного типа и до нескольких метров в секунду в зоне планет-гигантов, то утончение диска довело его плотность до так называемой критической плотности Роша, когда становится возможным распад диска на множество сгущений, в которых внутренние гравитационные силы больше, чем приливные силы Солнца, стремящиеся разрушить сгущения (рис. 3,в). В дальнейшем эти пылевые сгущения уплотнились и, сливаясь друг с другом, превратились в тела поперечником в десятки и сотни километров, т. е. размером с современные астероиды (рис. 3,г).

Возможно, почти полное затухание хаотических движений пылинок, необходимое для их собирания в очень тонкий слой с плотностью, превышающей критическую, произошло лишь во внешней зоне протопланетного облака, тогда как во внутренней зоне успокоению могли помешать корпускулярные потоки Солнца, внедрявшиеся в облако. В таком случае объединение пылинок в более крупные тела должно было произойти в результате их сцепления друг с другом при соприкосновениях. Этот процесс, аналогичный процессу образования крупных снежных хлопьев, в протопланетном облаке, мог пойти гораздо дальше и за несколько миллионов лет привести к образованию тел астероидных размеров.

На стадии, когда газ и пыль были перемешаны по всему объему протопланетного облака, последнее было непрозрачным, и солнечные лучи плохо прогревали его наружные части. По мере оседания пыли к

центральной плоскости облака утончающийся пылевой слой становился все более и более непрозрачным, а температура его внешних частей — все более и более низкой. Поэтому там пылинки могли состоять не только из одних нелетучих каменных веществ, но и могли включать также «льды» летучих веществ, в первую очередь воды и углекислоты, а на заключительном этапе собирания пылевого слоя — даже «льды» метана и аммиака. В то же время узкая внутренняя часть диска прогревалась Солнцем, и здесь пылинки должны были состоять только из тугоплавких нелетучих веществ. При объединении пылинок в тела астероидных размеров пространство стало прозрачным, поверхность астероидных тел начала прогреваться солнечными лучами, и внутренняя граница области существования ледяных тел отодвинулась от Солнца.

Таким образом, первый этап эволюции протопланетного вещества включал как механическую эволюцию — собирание пыли в тела астероидных размеров, так и химическую эволюцию — конденсацию и испарение летучих веществ*. Уже на этом этапе эволюции возникли те зональные различия в составе и обилии твердого вещества, которые в дальнейшем привели к зональному различию в составе и массах планет.

**ВТОРОЙ ЭТАП ЭВОЛЮЦИИ ПРОТОПЛА-
НЕТНОГО ВЕЩЕСТВА.** Тела астероидных размеров, возникнув из вещества пылевого слоя, первоначально двигались по круговым орбитам, лежащим в плоскости этого слоя. Они росли, сливаясь друг с другом и вычерпывая окружающее рассеянное вещество. Сперва это были остатки «первичной» пыли, а потом, в основном, — обломки, образовавшиеся в результате дробления некоторых астероидных тел при их столкновениях. Гравитационное взаимодействие астероидных тел, усиливающееся по мере их роста, постепенно изменяло их орбиты, увеличивая средний эксцентриситет и средний наклон к центральной плоскости (рис. 4, а, б). Но при объединении многих тел в планеты произошло усреднение индивидуальных свойств движения, и потому орбиты планет

* Если протопланетное облако возникло в результате отделения вещества от горячего протосолнца, его химическая эволюция должна была начинаться с образования различных сложных молекул и конденсации нелетучих веществ.

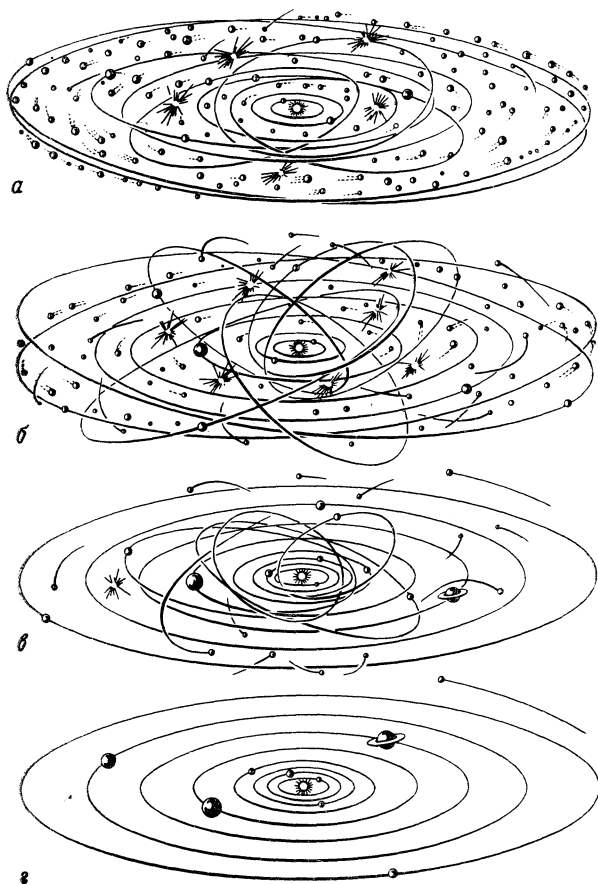


Рис. 4. Утолщение плоской системы промежуточных тел и образование планет путем постепенного объединения промежуточных тел и их обломков

получились почти круговыми и компланарными (рис. 4, в, г).

Планеты земной группы вобрали в себя практически все твердое вещество, имевшееся в районе их орбит (исключение составляет Марс, который, вероятно, недополучил часть причитавшегося ему вещества из-за соседства с массивным Юпитером). У планет-гигантов дело обстояло иначе. В их зоне солнечное притяжение невелико, и потому еще раньше, чем эти планеты достигли своих современных масс, притяжение их стало столь сильным, что начало резко изменять орбиты меньших тел и частиц, пролетавших мимо них. Эти тела и частицы стали выбрасываться далеко за пределы планетной системы и даже навсегда уходить от Солнца. Рост планет-гигантов приостановился тогда, когда они действием своего притяжения выбросили из зоны своего форми-

рования все астероидные тела и их обломки, а также газы.

Математическое исследование процесса аккумуляции планет с учетом не только объединений тел, но и их дроблений при столкновениях является весьма трудной задачей. За последние годы В. С. Сафронов подробнее, чем другие исследователи, рассмотрел многие стороны этого процесса. Оказалось, что аккумуляция 97—98% массы Земли должна была занять 100—200 млн. лет. В зоне каждой планеты образовалось множество крупных тел, одно из которых обогнало остальные в процессе роста и, поглотив их, превратилось в современную планету. На заключительной стадии роста Земли на нее должны были падать тела поперечником в 100—1000 км, и они принесли с собой значительную часть земной массы. Учет этого обстоятельства повышает оценки начальной температуры Земли по сравнению с прежними данными и приводит к заключению, что недра Земли с самого начала должны были быть не вполне однородными по составу и температуре. Эти выводы очень важны для геофизики.

Как было показано еще О. Ю. Шмидтом (1946 г.), процесс роста путем вычерпывания окружающего вещества включает в себе механизм, регулирующий расстояния между орбитами соседних растущих тел и приводящий в конце концов к закономерности расстояний планет от Солнца. Закономерность планетных расстояний, возникшая около 5 млрд. лет назад в ходе аккумуляции планет, была в дальнейшем слегка «подправлена» их взаимными притяжениями, стремившимися так изменить эти расстояния, чтобы возникли простые соотношения между периодами обращения планет вокруг Солнца (точнее — между угловыми скоростями их движения). Наличие таких резонансных соотношений в обращении планет вокруг Солнца и спутников вокруг планет было недавно продемонстрировано А. Б. Молчановым (1966 г.), разработавшим теорию возникновения такого резонанса.

В 1949 г. О. Ю. Шмидт показал, что совместное применение законов сохранения энергии и момента количества движения к процессу аккумуляции планет дает объяснение их прямого осевого вращения. Сам О. Ю. Шмидт рассмотрел весьма упрощенную модель процесса аккумуляции. В последующие годы ряд советских ученых занимался проблемой возникновения враще-

ния планет и существенно уточнил и расширил выводы О. Ю. Шмидта.

Таким образом, процесс формирования планетной системы путем аккумуляции вещества газово-пылевого протопланетного облака объясняет ее основные астрономи-

ческие свойства. Благодаря работам О. Ю. Шмидта и созданного им коллектива ученых советская наука занимает почетное место в области планетной космогонии, в исследованиях происхождения и развития Земли.



МОДЕЛЬ АТМОСФЕРЫ ЮПИТЕРА

Выступая на конференции Американского химического общества в Майами (Флорида), С. Поннамперума и Ф. Веллер сообщили о результатах лабораторного моделирования условий, существующих на планете Юпитер. Атмосфера этой планеты состоит из молекулярного водорода, аммиака, метана и, вероятно, гелия. По мнению многих специалистов, атмосферу подобного состава Земля имела примерно 4,5 млрд. лет назад. Экспериментаторы установили, что обмен энергией и химические процессы, протекающие в высоко турбулентной атмосфере Юпитера, могут приводить к созданию органических соединений, содержащихся в аминокислотах и живых клетках. Эти процессы, по-видимому, подобны тем, что привели к зарождению жизни на Земле.

Во время опытов электрические разряды, воспроизводящие молнии, использовались как источник энергии, необходимый для создания «преджизненных» молекул из аммиачно-метановой атмосферы. Более сложные органические молекулы из этих частиц могут образоваться только в воде. Крайне низкие температуры, существующие в верхних слоях атмосферы Юпитера (около -210°C), по-видимому, не мешают образованию органических соединений.

Опираясь на эти опыты, американские ученые П. Пиблс, Р. Галлет и работающий в Армагской обсерватории (Северная Ирландия) астроном Э. Эппик предложили модель атмосферы Юпитера. Они приняли также во внимание гравитационные характеристики

этой планеты, орбиты ее спутников и спектрографический анализ солнечной радиации, отраженной Юпитером. Согласно этой модели, атмосфера Юпитера состоит из слоев, в каждом из которых содержатся значительные количества метана, водорода, гелия, аммиака и неона. Несмотря на огромные размеры планеты, период ее оборота составляет лишь 10 часов. Это приводит к частому чередованию тепла и холода и, вероятно, вызывает усиление атмосферного перемешивания и ин-

тенсифицирует электрические разряды.

Ряд экспериментов, проведенных ранее, показал, что некоторые бактерии и грибковые, распространенные на Земле, могут существовать и размножаться в атмосфере с высоким содержанием аммиака и метана. Все это считают аргументом в пользу возможности существования определенных форм жизни на Юпитере.

«Science News», 91, 16, 1967.



ПЕРВЫЙ РЕЙС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «АКАДЕМИК КУРЧАТОВ»

В конце 1966 г. из Калининграда вышло в первый экспериментально-испытательный рейс новое исследовательское судно «Академик Курчатов».

По своим размерам, мореходным качествам и возможностям проведения широкого комплекса геофизических работ этот корабль выгодно отличается от своих предшественников — ныне плавающих научно-исследовательских судов «Витязь», «Михаил Ломоносов» и др. Противодрейфовое устройство и активный руль позволяют «Академику Курчатову» двигаться в любом направлении, даже бортом вперед (со скоростью до 3 узлов) и легко разворачиваться на месте. Движение против дрейфа

с малой скоростью — качество крайне важное при работе с тяжелыми забортными приборами в штормовую погоду. Благодаря высокой скорости хода (18,2 узла, т. е. на 6 узлов больше «Витязя»), большим запасам воды, продовольствия и горючего корабль может за две недели достичь практически любой точки Мирового океана.

В 26 лабораториях, оснащенных новейшей геофизической аппаратурой для исследования природы нашей планеты от верхних слоев атмосферы до верхней мантии Земли под океанами, в отличных условиях могут работать около 70 ученых. В зной и холод установкой искусственного климата

поддерживают заданную температуру и влажность воздуха в помещениях. И даже волны стали покорнее: «Академик Курчатов» оборудован активными успокоителями качки.

Для гравиметристов специально оборудованы две гиростабилизированные платформы, обеспечивающие горизонтальность плоскости с очень большой точностью (до нескольких угловых минут). Подобные платформы установлены на научном корабле впервые.

Говоря о научном оборудовании судна, следует отметить уникальные стационарные приборы: мио-мезонный телескоп и нейтронный монитор для измерения интенсивности космического излучения; ионосферная станция; радарная установка «Метеор» на стабилизированной платформе для аэрологических исследований.

Участники первого рейса «Академика Курчатова» должны были проверить работу всех механизмов и устройств корабля в различных условиях; освоить методику проведения основных океанологических работ на новом корабле; привести в действие многочисленную электронную аппаратуру и определить режим совместной работы всех отрядов; подготовить рекомендации и предложения по устранению эксплуатационных недостатков и, наконец, выполнить определенный объем научных исследований.

В этом рейсе участвовали научные отряды: гидрофизический, геологический, метеорологический, биологический, радиохимический, морской техники, гравиметрии и магнитометрии, а также несколько специальных групп. На корабле работали представители нескольких институтов Академии наук СССР. Возглавлял экспедицию директор Института океанологии АН СССР профессор А. С. Монин.

Основные работы первого рейса нового судна проводились в очень интересном районе Атлантического океана — над впадины Романш, расположенной почти на экваторе. Размеры впадины невелики, всего 400×20 км, зато глубина наибольшая во всей Атлантике — около 7600 м. Этот район привлекал исследователей своей неизученностью и, кроме того, большие скорости течений и максимальные глубины дела-

ли его наилучшим полигоном для испытаний корабельных механизмов.

Вот лишь некоторые результаты исследований, выполненных во впадине Романш. Гидрофизики измерили скорость и направление течений на горизонтах до глубины 1000 м. Вновь было обнаружено экваториальное подповерхностное противотечение Ломоносова, открытое ранее советскими исследователями. При обработке материалов выяснилось, что меридиональная составляющая экваториальных течений более существенна, чем отмечалось в прежних измерениях. Сравнение профилей температуры и солености от поверхности до глубины 7000 м с данными, полученными в этом же районе 9 лет назад американской экспедицией на судне «Крауфорд», показало их почти полное совпадение, начиная с глубины 500 м и до дна. Есть основания полагать, что межгодовая изменчивость в этом районе невелика.

Богатый материал со дна океана принесли тралы, дночерпатели и геологические трубки. Анализ колонок грунта и других образцов поможет ученым подойти к решению проблемы происхождения впадины. Биологи получили различные биоценозы глубоководной фауны, поймали несколько глубоководных рыб.

Выполнены профиль глубинного сейсмического зондирования, гравиметрический и магнитометрический разрезы. Последний может рассматриваться как значительный вклад в изучение магнитного поля Земли, так как он вносит существенные поправки в карты изменения вертикальной компоненты магнитного поля в районе впадины — с 4000 гамм на 7100 гамм.

Насыщение корабля современной географической аппаратурой привело к увеличению объема работ по ходу судна. Буксируемые приборы позволяли делать во время переходов до нового места рабочие разрезы с регистрацией многих параметров атмосферы и верхних слоев океана. Так, в рейсе почти на всем протяжении маршрута проводились радио-зондирование ионосферы, регистрация космического излучения, напряженности электростатического поля в атмосфере и магнитного поля в океане, солнеч-

ной радиации и излучения атмосферы, температуры поверхности океана.

Подводя итоги первого рейса, нельзя не сказать хотя бы несколько слов об успешном использовании в экспедиционных условиях электронно-вычислительной машины «Минск-2», которая значительно ускоряет процесс обработки длительных рядов наблюдений.

Напряженная и плодотворная работа участников рейса позволила выполнить все поставленные задачи. Опыт первого экспедиционного рейса показал, что именно на кораблях типа «Академик Курчатов» можно выполнить широкий комплекс геофизических исследований, чрезвычайно сложных и взаимообусловленных физических и химических процессов, протекающих в водах Мирового океана и в атмосфере над ним.

В. Г. НЕЙМАН,
кандидат географических наук
Б. Н. ФИЛЮШКИН,
кандидат географических наук

ЭКСПЕДИЦИЯ В ИНДИЙСКИЙ ОКЕАН «АКАДЕМИКА КУРЧАТОВА» И «ВИТЯЗЯ»

К наиболее интересным исследованиям, проводившимся Институтом океанологии в 1967 г., относится экспедиция в Индийский океан двух исследовательских судов — «Академика Курчатова» (2-й рейс) и «Витязя» (41-й рейс).

Работы на этих судах выполнялись по международному проекту исследования верхней мантии Земли. Особое внимание уделялось изучению рифтовых зон, так как они являются областями приближения к поверхности Земли глубинного вещества — верхней мантии (возможно, что в некоторых рифтовых зонах породы верхней мантии обнажаются в дне океана). Воздействие верхней мантии на формирование земной коры исключительно велико. Рифтовые долины — своего рода кухня формирования коры особого типа, представляющей собой мозаику блоков нормальной коры и блоков вещества верхней мантии.

(Окончание на стр. 70)

НОВОЕ О ЛУННОМ ВЕЩЕСТВЕ

Ю. А. СУРКОВ,
кандидат физико-математических наук

Тайны лунного покрова породили множество фантастических предположений, которые не могли быть проверены наземными наблюдениями. Что представляют собой лунные породы? Каковы структура, состав и свойства лунного вещества? Ответить на эти вопросы оказалось возможным лишь сейчас, когда наступил новый этап исследования Луны лунными станциями, начало которому положила советская автоматическая станция «Луна-9».

Среди многих научных проблем, связанных с исследованием Луны, главными, пожалуй, можно назвать проблемы происхождения и эволюции Луны. Для их решения необходимо знать состав, структуру и свойства лунного вещества.

Длительные исследования некоторых физических характеристик лунной поверхности, которые проводились с Земли методами наблюдательной астрономии, а в последнее десятилетие и радиоастрономическими методами, существенно продвинули наши знания о природе поверхностного слоя Луны. Однако с их помощью не удалось получить определенного представления о составе и свойствах лунных пород. Значительно сузили круг различных предположений и догадок о возможном составе и свойствах лунного вещества (по крайней мере, ее поверхностного слоя) исследования Луны с помощью советских автоматических станций «Луна-9, -10, -11, -12 и -13», запущенных в 1966 г.

Что же стало известно нового о лунном веществе? Первую интереснейшую информацию принесли панорамы лунной поверхности, переданные советской автоматической станцией «Луна-9», впервые высаженной на Луну. Одним из важнейших результатов этого эксперимента явилось решение многолетней проблемы существования пылевого слоя на лунной поверхности.

Как известно, несмотря на бомбардировку лунной поверхности метеоритами и микроме-

теоритами, а также облучение космическими лучами и солнечным «ветром» (что должно приводить к рыхлению поверхностного слоя лунного вещества), никакого пылевого слоя на Луне не обнаружено. Очевидно, это объясняется, главным образом, отрицательным балансом * вещества Луны, вызывающим постоянное обновление лунной поверхности. Возможно, этому также способствуют некоторые процессы, приводящие к слёживанию и цементации лунного вещества в глубоком вакууме.

Другим важным результатом исследования Луны советскими автоматическими станциями являются некоторые новые представления о структуре и свойствах поверхностного слоя лунного вещества. Анализ снимков, переданных станциями «Луна-9» и «Луна-13», свидетельствует о неоднородности поверхностного слоя лунного вещества. Самый верхний слой толщиной, вероятно, в несколько сантиметров представляет собою вещество, сильно взрыхленное и переработанное ударами метеоритов и микрометеоритов. Он имеет высокую пористость, низкую плотность и, очевидно, не прочен. Внешне он напоминает сильно коррозированный материал.

На автоматической станции «Луна-13» (рис. 1) были установлены грунтомер-пенет-

* При ударах о лунную поверхность метеоритов и микрометеоритов на Луну выпадает космического вещества меньше, чем выбрасывается с ее поверхности в пространство.

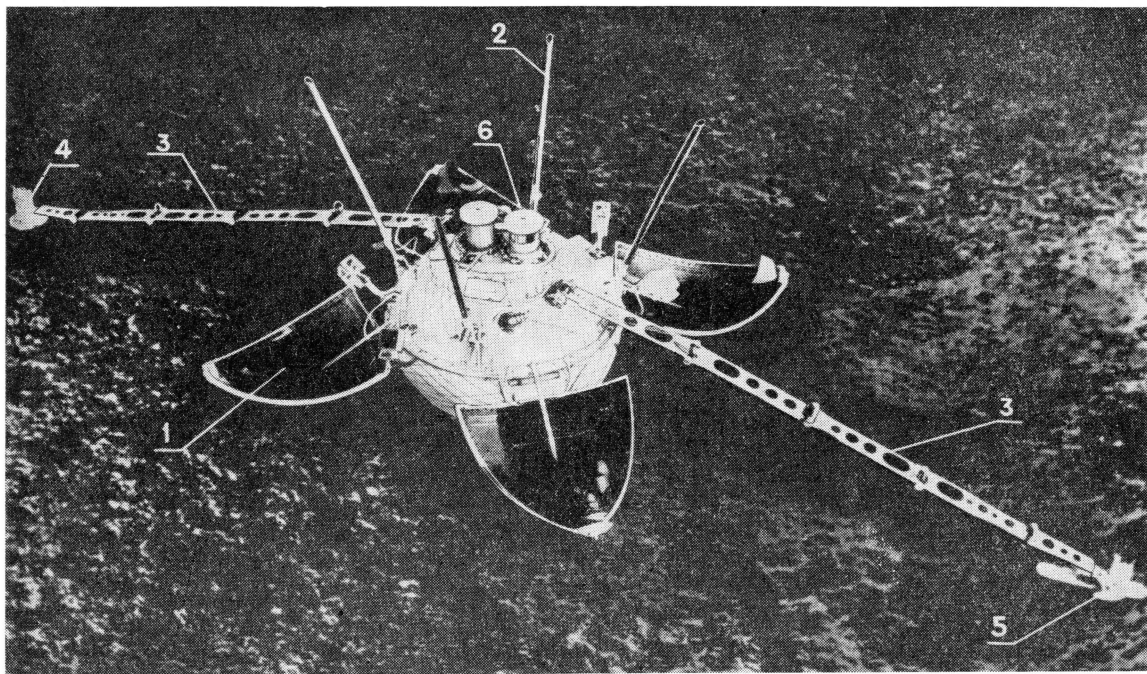


Рис. 1 Автоматическая станция «Луна-13». 1 — лепестковые антенны; 2 — штыревые антенны; 3 — механизмы выноса приборов; 4 — грунтомер-пенетrometer; 5 — радиационный гамма-плотномер; 6 — телевизионная камера

рометр и радиационный гамма-плотномер, позволяющие определить плотность и прочность поверхностного слоя лунного вещества. Эти параметры широко используются в инженерной геологии для характеристики грунта. Оказалось, что поверхностный слой Луны больше всего похож на материал, состоящий из слабо связанных зерен или гранул пористого вещества объемным весом примерно $0,8 \text{ г/см}^3$ (напомним, что объемный вес скальных пород земной коры около $2,5—3,0 \text{ г/см}^3$).

Под этим поверхностным слоем, вероятно, имеется промежуточный слой вещества, плотность и прочность которого увеличиваются с глубиной. Толщина этого слоя может быть различной в разных местах, но, очевидно, в среднем не превышает нескольких метров.

Наконец, ниже находятся скальные породы, которые по своим свойствам могут быть близкими к породам земной коры. Глубина залегания скальных пород в разных местах различна. В некоторых местах наблюдается выход их на поверхность.

Таким образом, изучение лунных панорам и анализ результатов определения некоторых физико-механических параметров лунных пород позволили составить некоторое представление о структуре и свойствах поверхностного слоя лунного вещества. Однако в этих экспериментах не предполагалось получить какую-либо информацию о характере лунных пород, их химическом и минералогическом составе. Эта задача была поставлена перед советской автоматической станцией «Луна-10» (рис. 2), выведенной на орбиту спутника Луны.

Известно, что средняя плотность Луны ($3,33 \text{ г/см}^3$) значительно ниже, чем планет земной группы, и в частности Земли ($5,52 \text{ г/см}^3$). Вместе с тем плотность самих земных пород далеко не одинакова. Поверхностные породы земной коры, составляющие около 1% массы Земли, имеют плотность примерно $2,5 \text{ г/см}^3$. Плотность мантии Земли (силикатной оболочки), простирающейся до глубины около 3000 км, примерно 5 г/см^3 . Наконец, средняя плотность ядра планеты

составляет более 10 г/см^3 . Причина такого разделения вещества Земли кроется в физико-химической и гравитационной дифференциации вещества, имевшей место при разогреве земных недр за счет радиогенного тепла. В результате этого происходило выплавление легкоплавкой фракции вещества, которая при остывании образовала земную кору. Основные породы, слагающие земную кору, — базальты и граниты. Более глубокий слой вещества, из которого выплавилась земная кора, составляют ультраосновные породы — дуниты. Известно также, что содержание естественных радиоактивных элементов в земной коре приблизительно на два порядка выше, чем в ультраосновных породах.

Существует ли разделение вещества Луны на поверхностные и глубинные породы?

Малый размер Луны, несимметричность ее фигуры, отсутствие магнитного поля и другие факторы указывают на то, что возможность дифференциации вещества маловероятна. Однако гораздо больше данных говорит все же о вероятном существовании этого процесса в эволюции Луны. Об этом свидетельствуют различие физических характеристик лунных «морей» и «материков», характер и закономерности в расположении кратеров, многоэтапность в развитии лунного рельефа, а также изменения, наблюдаемые на лунной поверхности (например, истечение газов из кратера Альфонс), и др. В то же время дифференциация дает ключ к пониманию многих проблем, связанных с эволюцией Луны, формированием лунного рельефа, происхождением лунных пород.

Первый существенный вклад в решение этой проблемы внесли результаты измерений гамма-излучения лунных пород. На станции «Луна-10» был установлен многоканальный сцинтилляционный гамма-спектрометр, с помощью которого предполагалось определить тип лунных пород, оценить их химический состав и содержание в них естественных радиоактивных элементов (урана, тория и калия). Этот прибор измерял интенсивность и спектральный состав гамма-излучения лунной поверхности в диапазоне от 0,3 до 3,0 Мэв.

Отсутствие у Луны атмосферы, поглощающей гамма-излучение, позволяет проводить его регистрацию непосредственно с орбиты спутника. Происходящее при этом уменьшение скорости счета связано лишь с уменьшением телесного угла, под которым видна поверхность Луны.

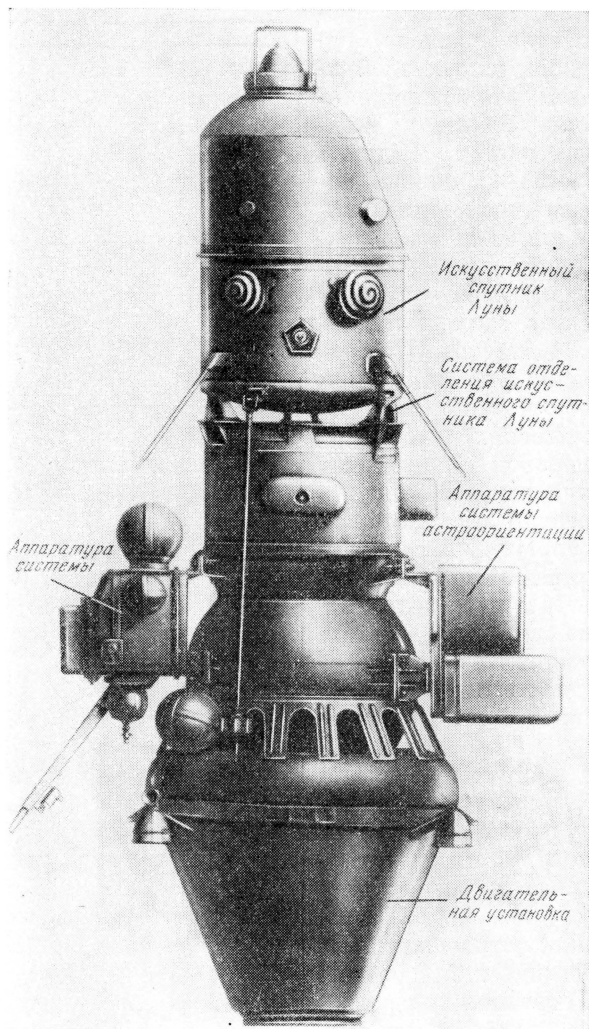


Рис. 2. Автоматическая станция «Луна-10»

Подобно тому, как это наблюдается на Земле, гамма-излучение лунной поверхности должно быть связано с присутствием в лунных породах естественных радиоактивных элементов — тория, урана с их продуктами распада, а также природного радиоактивного изотопа калия-40.

Кроме того, в отличие от Земли, на поверхности Луны существует гамма-излучение, возникающее при взаимодействии космических лучей с лунным веществом. В породах с низким содержанием урана, тория и калия интенсивность этого излучения может быть и выше уровня гам-

ми. — должен характеризовать состав породы.

Каковы же результаты измерений гамма-излучения, выполненных на автоматической станции «Луна-10»?

За время работы станции было проведено более 40 сеансов измерений радиоактивности лунной поверхности. Измерения охватили обширные участки поверхности, включая районы «материков» и «морей» на видимой и обратной стороне Луны. На карте Луны (рис. 3) показаны проекция траектории полета станции и районы, где проводились измерения гамма-излучения лунной поверхности.

На рис. 4 (кривая 1) мы видим один из спектров гамма-излучения лунных пород, измеренный на орбите спутника Луны авто-

матической станцией «Луна-10». Интересно отметить, что лунный спектр не похож на спектры гамма-излучения земных пород, которые определяются лишь распадом урана, тория и калия и их дочерних продуктов. Лунный спектр имеет более пологий спад, чем земной, так как он содержит большой вклад гамма-излучения продуктов ядерных реакций, в составе которого много квантов больших энергий (более 1,5 Мэв).

Наблюдающиеся на спектре гамма-излучения лунных пород пики (на рисунке указаны величины энергии, которым они соответствуют) принадлежат различным продуктам ядерных реакций, образовавшимся при взаимодействии космических частиц с основными элементами, составляющими породу (кислород, кремний, алюминий и др.).

На рис. 4 приведены также спектр гамма-излучения, обусловленного взаимодействием космических лучей с лунной породой (кривая 2), и спектр гамма-излучения, возникающего от распада естественных радиоактивных элементов (урана, тория и калия), содержащихся в лунных породах (кривая 3). Эти два спектра в сумме составляют полный спектр гамма-излучения лунных пород (кривая 1).

Как видно из этих спектров, не менее 90% всего гамма-излучения лунных пород обусловлено взаимодействием космических лучей с лунными породами и лишь не более 10% принадлежит распаду естественных радиоактивных элементов (урана, тория и калия).

Чтобы сравнить интенсивность и спектральный состав гамма-излучения Луны с тем, что наблюдается на Земле, гамма-спектрометр «Луны-10» калибровался и градуировался на различных земных породах. На основании этих лабораторных измерений были вычислены спектры гамма-излучения, которые должен зарегистрировать данный прибор на орбите спутника Луны при условии, что содержание естественных радиоактивных элементов в лунных породах такое же, как в гранитах, базальтах, дунитах и каменных метеоритах — хондритах. Эти калибровочные гамма-спектры показаны на рис. 5.

Общий уровень гамма-излучения лунных пород, обусловленный как распадом естественных радиоактивных элементов, так и облучением космическими частицами, приближается к уровню гамма-излучения пород земной коры, в которых, как уже указывалось, гамма-излучение является лишь следствием распада естественных радиоактивных элемен-

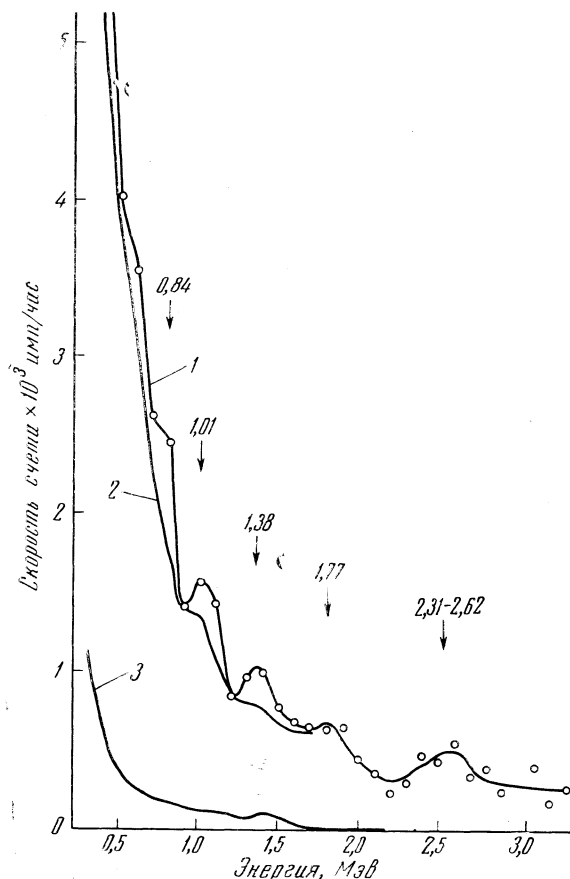


Рис. 4. Спектр гамма-излучения Луны, измеренный автоматической станцией «Луна-10»

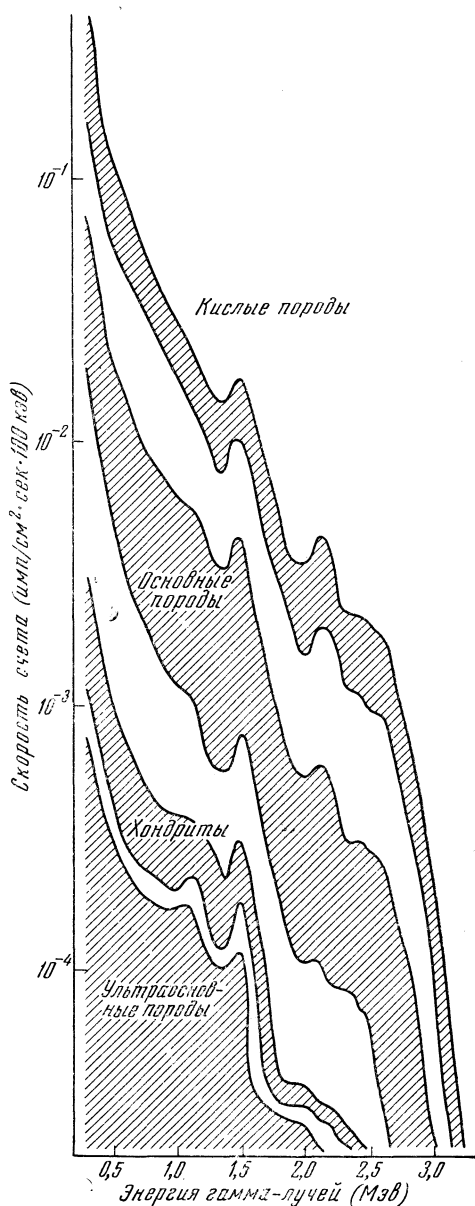


Рис. 5. Спектры гамма-излучения естественных радиоактивных элементов, содержащихся в земных породах и каменных метеоритах

тов. В среднем интенсивность гамма-излучения на поверхности Луны (для районов, где производились измерения) составляет 20—30 $\mu\text{кр}/\text{час}$, что в 1,5—2,0 раза больше, чем над гранитами (земными породами с наиболее высоким содержанием урана, тория и калия).

Если по спектру 3 (рис. 4) оценить количество радиоактивных элементов в лунных породах, то оказывается, что оно соответствует содержанию радиоактивных элементов в земных породах либо основного (базальтового), либо ультраосновного (дунитового) состава, в зависимости от того, в каком районе лунной поверхности проводились измерения. Пород с высоким содержанием естественных радиоактивных элементов (например, гранитов) и тем более пород с рудными концентрациями этих элементов в районах лунной поверхности, где выполнялись измерения, не обнаружено.

Интересно также, что интенсивность гамма-излучения над различными участками лунной поверхности оказалась мало отличающейся. Этот результат, по-видимому, объясняется тем, что основным источником гамма-лучей является облучение космическими частицами — фактор, одинаково действующий на всей поверхности Луны. Но именно это наблюдаемое небольшое различие в интенсивности гамма-излучения над различными районами лунной поверхности представляет особый интерес. Средняя интенсивность гамма-излучения естественных радиоактивных элементов над лунными «морями» оказалась близкой к той, которую мы наблюдали бы, если станция «Луна-10» находилась над базальтовыми породами. Над лунными «материками» гамма-излучение естественных радиоактивных элементов практически отсутствует, что должно наблюдаться в том случае, когда станция пролетает над ультраосновными породами. О чем это говорит?

Если это так, то можно полагать, что на ранней стадии своего существования, когда Луна сформировалась в виде твердого тела, вещество ее поверхностного слоя по своему составу и структуре было похоже на вещество каменного метеорита. Впоследствии в более поздний период произошел разогрев лунных недр и проплавление поверхностного слоя за счет радиогенного тепла, выделившегося при распаде естественных радиоактивных элементов.

Однако в отличие от Земли, где в результате сильного разогрева происходило выплавление легкоплавких элементов и образование земной коры, покрывающей всю планету, на Луне происходило лишь частичное проплавление поверхностного слоя лунного вещества. В результате некоторые участки лунной поверхности оказались затопленными вышед-

шей на поверхность расплавленной магмой. Это и привело к образованию лунных «морей», состоящих из базальтовых пород. Лунные «материки» являются, очевидно, первичным веществом хондритового состава, которое не подверглось расплавлению. Таким образом, по-видимому, Луна — небесное тело с начальными этапами дифференциации, результаты которой лишь частично проявились на его поверхности.

В настоящее время проведены лишь пер-

вые эксперименты и получены лишь первые результаты. Вероятно, еще рано делать окончательные выводы. Но уже ясно, что результаты, полученные с помощью советских лунных станций, внесли неоценимый вклад в исследование Луны, и в первую очередь в изучение состава, структуры и свойств ее поверхностного слоя. Несомненно, они явятся основой для понимания многих проблем, связанных с происхождением и эволюцией Луны.



ИНФРАКРАСНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛУНЫ

Мы уже рассказывали (см. «Земля и Вселенная», № 2, 1966 г., стр. 39) об интересной работе, выполненной во время лунного затмения 19 декабря 1964 г. американскими исследователями Р. В. Шортхиллом и Дж. М. Сари.

С помощью сканирующего устройства, установленного в фокусе 185-сантиметрового телескопа Хелуанской обсерватории (Египет), был сделан обзор лунного диска в инфракрасной (10—12 мк) и визуальной (0,45 мк) областях. Сканирование производилось до затмения и несколько раз в течение полутеневой и полной фаз затмения. По данным сканирования

удалось построить изображения Луны, три из которых здесь воспроизведены. (Разрешение на фотографиях 10" дуги, север — вверх.)

Рис. 1 — визуальное изображение полной Луны за 26 минут до полутеневой фазы затмения. Одновременно с ним в инфракрасном диапазоне получили изображение Луны, которое приведено на рис. 2. Оказалось, что светлые области на Луне более холодные (они темные на инфракрасном изображении), а темные — теплее (они ярче в инфракрасной области). Это можно объяснить тем, что светлые области отражают



Рис. 1

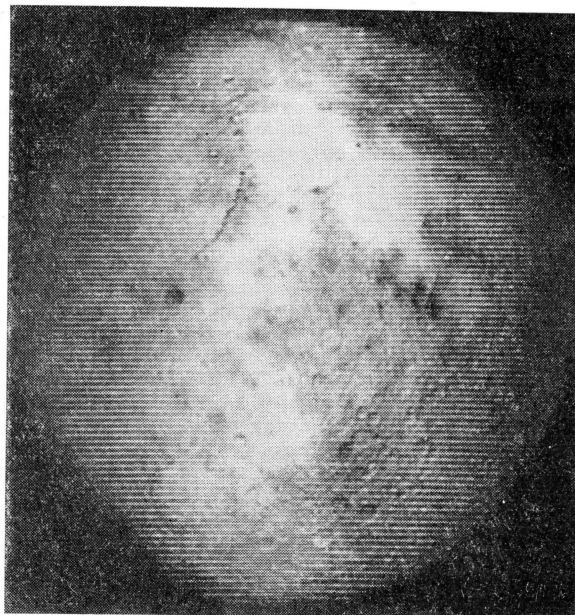


Рис. 2

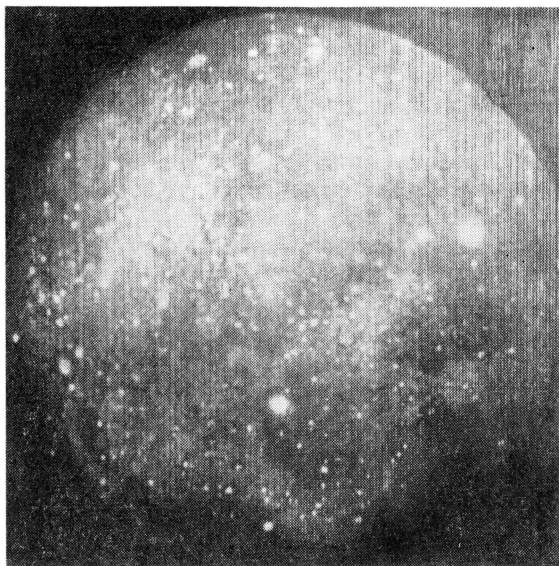


Рис. 3

больше солнечной энергии, чем темные, поэтому уменьшается количество поглощаемой, а следовательно, и переизлучаемой энергии в инфракрасной области спектра. Западный край лунного диска более темный: Солнце там взошло позже и поверхность нагрелась слабее.

Рис. 3 — инфракрасное изображение Луны, полученное во время полной фазы затмения. На лунной поверхности видно множество тепловых неоднородностей. Яркие (горячие) пятна стали заметны еще при полутеневой фазе затмения спустя 25 минут после его начала.

Многие горячие пятна идентифицируются с известными деталями поверхности Луны, причем 90% из них — с кратерами. Наиболее горячие места — лучевые кратеры Тихо, Аристарх, Кеплер и др.

Кратер Тихо, например, имел температуру -53°C через 55 минут после начала полной фазы. Температура же окружающей кратер местности оказалась на 35° ниже. Уже на рис. 3 заметно неравномерное распределение горячих пятен по диску Луны. Их особенно много в Море Спокойствия и мало в южной горной части Луны (нижней на фотографии).

«Icarus», 5, 6, 1966.

ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ ПЛАН МЕСТА ПОСАДКИ «ЛУНЫ-9»

Топографическое изучение лунной поверхности имеет большое значение, так как топография Луны в значительной мере является ключом к познанию ее природы. До прилунения советской автоматической станции «Луна-9» самым крупномасштабным топографическим планом был рельефный план, составленный в 1964 г. американскими учеными под руководством Ю. Шумейкера и Дж. Мак-Коли по снимку, сделанному перед самым падением «Рейнджера-7». Этот план выполнен в масштабе 1:80 и имеет горизонталь сечением через 10 см. Единственный изображенный на плане элемент топографической ситуации — это кратеры. Камней или других образований на плане не показано. На рельефном плане кратеры были изображены в виде неправильных овалов. Это, как нам кажется, не согласуется со зрительным восприятием их формы, возникающим при рассматривании крупномасштабных рейнджеровских снимков.

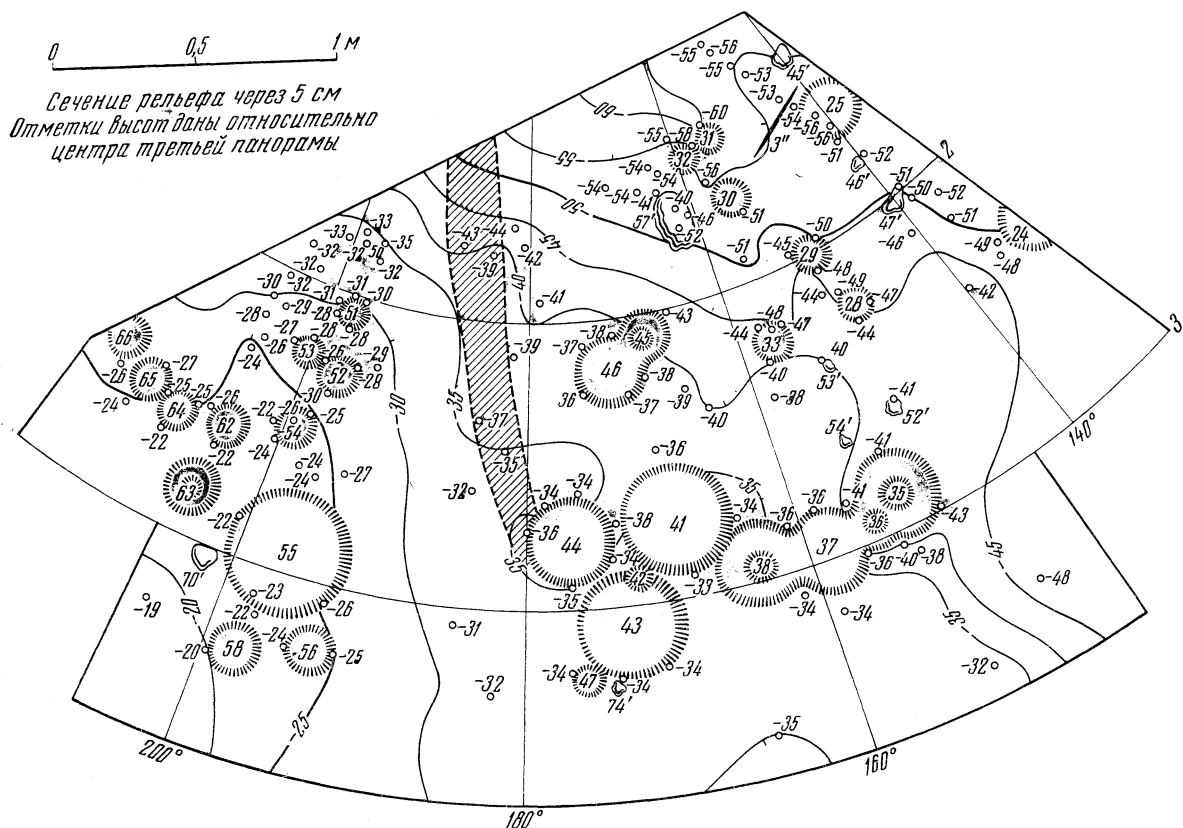
Панорамы, переданные на Землю станцией «Луна-9», позволили построить топографический план и схему места ее посадки

в масштабах 1:20 и 1:40 (см. книгу «Первые панорамы лунной поверхности», «Наука», 1966). Это — первые топографические документы, созданные по данным наблюдений, выполненных непосредственно с лунной поверхности. План (см. рис. на стр. 65) охватывает ближайший к станции участок местности, где точность определения координат деталей ситуации около $\pm 10\%$, а рельефа ± 5 см. Схема отображает всю доступную для обработки зону, просматриваемую на панорамах. План и схема построены не фотометрическим методом, как это сделали американские ученые, а по данным стереоскопических измерений.

Панорамы представляют собой особый вид центральной проекции, в котором изображение строится на сферической поверхности. Две панорамы одной и той же местности, полученные из разных точек пространства, образуют пространственную панорамическую засечку. Для ее получения на станции «Луна-9» были установлены три двугранных зеркала, которые давали стереобзор узких полос местности. Значительно большая зона стереобзора получилась вследствие постепенного наклона станции, что позволило заснять панорамы из четырех точек. Методика фотограмметрической обработки панорам и построения плана подробно изложена в книге «Первые панорамы лунной поверхности».

На плане и схемах горизонтальными сечением через 5 см изображены рельеф и элементы топографической ситуации: кратеры, камни, линейчатые образования, а также полярная система координат с началом в центре панорамирования одной из панорам и начальным направлением, совпадающим с меридианом.

В отличие от американской интерпретации, кратерам придана округленная форма. Основанием для этого явилось то, что у всех кратеров, на бровке которых определялось более трех пикетов, последние на плане описывались правильной окружностью. Всего таких кратеров семь, из них три (44, 46, 51) видны на рисунке. Поскольку семь кратеров расположены в разных частях панорамы, можно распространить такую закономерность и на другие кратеры. Кроме того, округлая форма кратеров угадывается и



○-47 Отметки высот, см

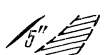


Кратеры

— Горизонталы



25' Кратеры



Линейчатые образования,
микрогряды

3 Линия дальностей, М
80° 60° Линии азимутов

Южный фрагмент топографического плана места посадки «Луны-9»

при стереоскопическом просмотре*.

Почти одновременно с советскими учеными группа аме-

* Различие форм кратеров на снимке «Рейнджера-7» и на снимках «Луны-9» может быть связано с различием происхождения самих кратеров: вторичные кратеры могут иметь овальную форму, в то время как падение быстрого метеорита создает круглый кратер. (Ред).

риканских специалистов под руководством Ю. Шумейкера составила свой вариант плана места посадки «Луны-9». Они пользовались снимками, переданными им Б. Ловеллом, а также снимками, которые были опубликованы в наших газетах. Сопоставление советского топографического плана с американским показывает, что расположение элементов ситуации в зоне, названной планом, фактически совпадает. За его пределами имеются

расхождения, иногда существенные. На американском плане не изображен рельеф — он только контурный. Обращает на себя внимание упомянутая разница в интерпретации кратеров. В целом же можно считать, что американский вариант, будучи существенно беднее по содержанию, все же косвенно подтверждает достаточную достоверность нашего плана.

Б. П. РОДИНОВ,
доктор технических наук

ВНЕЗАТМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ И БОЛЬШОЙ СОВЕТСКИЙ КОРОНОГРАФ

Г. М. НИКОЛЬСКИЙ
доктор физико-математических наук

В августе 1966 г. на Горной астрономической станции близ Кисловодска был смонтирован крупнейший в мире внезатменный коронограф — прибор, предназначенный для наблюдения солнечной короны вне затмений. Подобные наблюдения — сложная и важная задача астрофизических исследований.

Весьма слабое свечение солнечной короны становится видимым во время полного солнечного затмения, когда яркость дневного неба падает в миллионы раз. Исследование солнечной короны имеет большое научное значение: в короне формируются те быстрые частицы и высокоэнергичное электромагнитное излучение, действие которых на земную атмосферу вызывает практически все геофизические эффекты. Солнечная корона — своеобразная физическая лаборатория, где мы исследуем (правда, лишь пассивно) гигантское облако высокотемпературной разреженной плазмы, движущейся и излучающей в магнитном, радиационном и гравитационном полях. Многие стороны этого явления еще не понятны.

Свечение короны принято делить на компоненты, введенные вначале чисто фор-

мально. *K*-компонента, наиболее яркая составляющая короны, ее излучение поляризовано и быстро ослабевает с удалением от Солнца. *K*-компонента образована рассеянием солнечного света на свободных электронах облака плазмы, окружающего Солнце. Спектр этой компоненты непрерывный: в нем отсутствуют линии поглощения, наблюдающиеся в солнечном спектре (линии замыкаются вследствие быстрого движения электронов). С расстояний, больших двух солнечных радиусов, появляется и затем доминирует *F*-компонента, обусловленная рассеянием солнечного света на межпланетных пылинках. В спектре этой компоненты отчетливо видны все солнечные линии поглощения. Иногда говорят об *L*-компоненте — многочисленных эмиссионных линиях, излучаемых высокоионизованными

атомами тяжелых элементов (Fe X—XV, Ni XII—XVI, Ca XII—XV и др.). В настоящее время в области спектра 3000—12 000 Å известно около 100 этих линий. Таким образом, *L*- и *K*-компоненты и составляют собственно корону.

Поверхностная яркость короны в 10^5 — 10^6 раз слабее солнечной, и наблюдения короны вне затмения — серьезная проблема. В двух крайних участках электромагнитного спектра — радиодиапазоне (длина волны больше 1 см) и коротковолновом участке (длина волны меньше 2000 Å) — излучение короны доминирует, и, имея соответствующую аппаратуру*, корону можно исследовать и

* В первом случае необходимы радиотелескопы, во втором — ракеты, поднимающие спектральные приборы за пределы земной атмосферы.

вне затмения. Однако по целому ряду причин получить полную и надежную информацию только такими методами нельзя.

Задача наблюдений короны в видимой области длин волн вне затмения была решена выдающимся наблюдателем XX века — французом Бернаром Лию (1897—1952). Предшествующие многочисленные хитроумные попытки наблюдать корону вне затмения терпели неудачу. Заслуга Лию прежде всего состоит в правильном анализе причин, препятствующих наблюдениям.

Излучение фотосферы, которая и образует видимый солнечный диск, рассеивается на частицах воздуха и пыли, создавая ореол вокруг Солнца, зачастую более яркий, чем корона. Попадая в астрономический прибор, солнечный свет рассеивается оптическими деталями: поверхностями линз и зеркал, а также неоднородностями стекла. Весьма существенна дифракция — способность света частично огибать препятствия — явление, связанное с волновой природой света.

В ясный день, закрыв солнечный диск пальцем вытянутой руки, можно заметить, что в непосредственной близости от Солнца (около 0,1 диаметра диска) небо заметно ярче, чем в зените. Высоко в горах, где небо кажется темным, различие не такое уж резкое. Измерения показывают, что при идеально чистом, свободном от пыли высокогорном небе, его яркость на расстоянии 1' от края Солнца составляет примерно 10^{-6} яркости солнечного диска. Такого же порядка и яркость короны (в непрерывном спектре) на том же расстоянии. Если же

наблюдения короны проводить в одной из ярких корональных линий, то относительная интенсивность короны может возрасти в 10 и даже в 100 раз. Таким образом, рассеянный земной атмосферой солнечный свет не может нас заставить отказаться от попыток наблюдений, если воздух достаточно чист и прозрачен («корональное небо»), каким он нередко бывает в горах. Однако основная трудность — рассеяние солнечного света в оптических деталях аппаратуры, предназначенной для наблюдения короны, остается.

Пусть питающей системой прибора служит простой объектив. Если осветить объектив ярким источником света, то, поместив глаз вне изображения источника (но достаточно близко к нему), можно увидеть картину, аналогичную рис. 1. Преж-

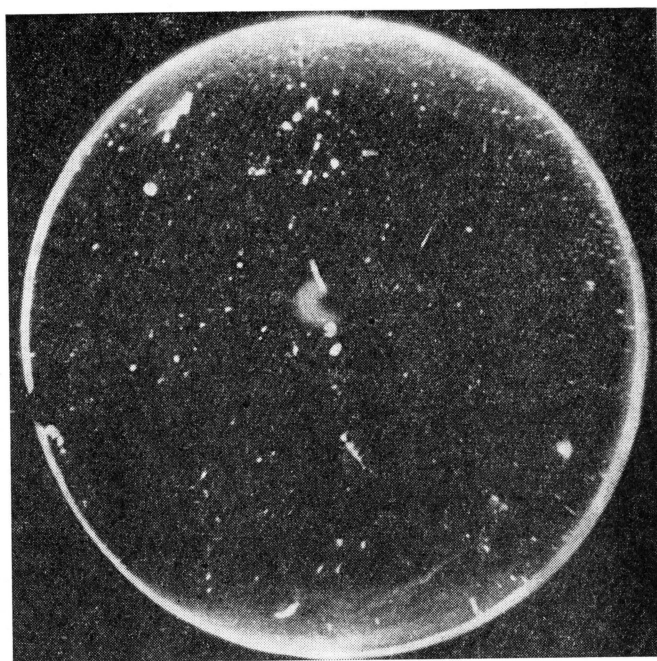


Рис. 1. Рассеяние света в оптике (535-миллиметровый объектив внезатменного коронографа ИЗМИРАН—ГАО)

де всего, независимо от свойств объектива, на краях входного отверстия из-за дифракции света образуется яркое кольцо. На расстоянии 1—3' от края изображения Солнца яркость ореола, обусловленного дифракционным кольцом, составляет около 0,1% яркости солнечного диска. Кроме того, на рис. 1 видны многочисленные яркие точки, возникающие вследствие рассеяния света на пылинках, царапинах и внутренних неоднородностях — воздушных пузырьках объектива. Все эти источники рассеяния света также вливаются в ореол и мешают наблюдать корону. Лию выбрал для своего прибора однолинзовый объектив из тщательно обработанного стекла лучшего качества. Такой объектив обладает значительной хроматической аберрацией и резкое изображение строит

лишь в узкой области длин волн. Однако с этим недостатком приходится мириться, ибо исправленный за хроматизм объектив должен состоять из двух или более линз, дающих вместе слишком большой рассеянный свет.

При внезатменных наблюдениях короны приходится создавать искусственное затмение. Как же оно осуществляется? Если искусственную «Луну» вынести за пределы прибора, то, как показывают расчеты, такой экран пришлось бы удалять на значительное расстояние от прибора, а следовательно, делать его очень большим (поперечник экрана должен составлять примерно 0,01 этого расстояния). Технические трудности, связанные с подобным способом, делают его практически невозможным. Значит затмение нужно создать внутри прибора, построив изображение Солнца и закрыв фотосферу непрозрачным экраном несколько большего диаметра, чем диаметр изображения солнечного диска. Искусственная «Луна» в приборе, сконструированном Лию, представляет собой полированный конус, вершина которого обращена к объективу.

Остается устранить лишь влияние дифракционного кольца. За коническим экраном — искусственной «Луной», — отбрасывающим свет солнечного изображения в стороны, Лию поставил небольшой объектив — линзу поля, создающую изображение главного объектива. Теперь Лию мог «убрать» дифракционное кольцо, поместив в плоскости изображения главного объектива круглую диафрагму нужного диаметра и небольшой централь-

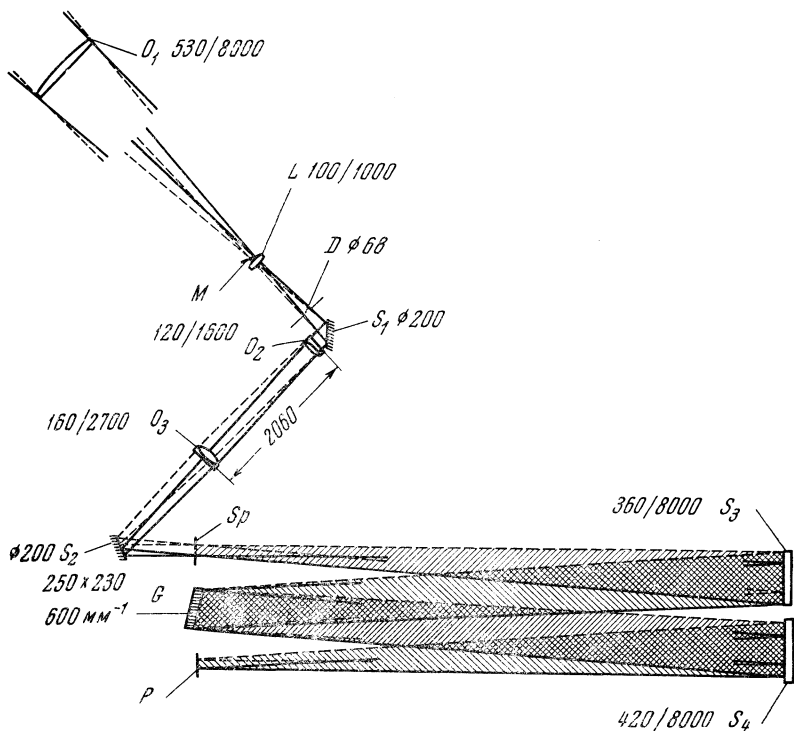


Рис. 2. Оптическая схема внезатменного коронографа ИЗМИРАН—ГАО. O_1 — главный объектив; M — искусственная «Луна», L — линза поля; D — диафрагма Лию, S_1 — диагональное зеркало; O_2 , O_3 — объективы, строящие изображение «Луны» на щели спектрографа; S_2 — диагональное зеркало; S_p — щель спектрографа; S_3 — зеркало коллиматора; G — дифракционная решетка; S_4 — зеркало камеры; P — фокальная плоскость спектрографа. Фотография прибора опубликована в журнале «Земля и Вселенная», № 5, 1967 г. на стр. 55.

ный экран, который закрывал яркий блик, возникающий при отражении солнечного света от двух поверхностей главного объектива. За диафрагмой необходимо было установить объектив, переносящий изображение короны на фотоэмульсию или входную щель спектрографа. Созданный Лию прибор — коронограф — позволил в 1930 г. получить впервые фотографии протуберанцев и спектра короны в ярких линиях излучения вне солнечного затмения.

Искусство Лию как экспериментатора, несмотря на значительный технический

прогресс за 30 с лишним лет, не превзойдено и теперь. В 1931 г. Лию на коронографе с главным объективом 13 см/315 см ($D=13$ см, $F=315$ см) получил прямые снимки короны через широкополосный красный фильтр. Подобные наблюдения вплоть до настоящего времени еще не удавались никому.

Регулярные наблюдения солнечной короны в ярких корональных линиях 5303 Å (Fe XIV) и 6374 Å (Fe X) проводятся на 10 горных станциях в различных странах. Эти станции составляют мировую сеть «службы короны». В СССР службу короны

ведут две обсерватории: Горная астрономическая станция Главной астрономической обсерватории (ГАО) АН СССР (близ Кисловодска) и Горная станция Астрофизического института АН КазССР (близ Алма-Аты) *. По стабильности и точности материалы «корональной службы», организованный М. Н. Гневышевым с 1950 г. на Кисловодской станции, являются одними из лучших в мире. Однако имеющиеся инструменты малы и с достаточным успехом не могут применяться для решения ряда научных задач. Дело в том, что в настоящее время необычайно актуальны исследования хромосферы и короны с высоким пространственным и спектральным разрешением. Следовательно, необходим крупный внеатомный коронограф с мощным спектрографом.

Оптическая схема (рис. 2) и основы конструктивного решения подобного инструмента разработаны научным сотрудником ИЗМИРАН А. А. Сазановым и автором этой статьи в 1963 г. В 1966 г. коронограф был построен и смонтирован на Горной астрономической станции ГАО АН СССР.

Детальное конструирование коронографа и изготовление его механических и электрических узлов осуще-

ствлено специальным конструкторским бюро (СКБ) ИЗМИРАН под руководством заведующего СКБ кандидата технических наук В. П. Прошина. При конструировании инструмента возникли серьезные трудности, связанные в основном с его большими размерами (например, проблема гнущихся), которые были успешно разрешены инженерами СКБ А. К. Кишонковым, Ю. А. Мингазидиновым, В. В. Ушаковым и другими.

Оптические части и некоторые прецизионные механические детали сделаны в мастерских ГАО.

Наиболее ответственной деталью коронографа является главный объектив, от качества стекла и тщательности изготовления которого зависит многое. При изготовлении объектива заведующему оптической мастерской, первоклассному оптику-механику В. Г. Шрейберу очень помогли советы ныне покойного члена-корреспондента АН СССР Д. Д. МаксUTOва.

Готовый объектив представляет собой плоско-выпуклую линзу диаметром 535 мм и фокусом 8 м для волны 5500 Å (стекло крон-8). Тщательное лабораторное исследование, проведенное в ИЗМИРАН, показало исключительно высокие качества объектива. Его рассеянный свет на расстоянии 1—2' от края Солнца не превышает $(2 \div 6) \cdot 10^{-6}$ яркости Солнца, а размеры изображения точки (0",4 или 0,016 мм) близки к идеальному (0",28) для волны 5500 Å.

Объектив установлен на конце ажурной фермы — тубуса коронографа. В фокусе объектива расположена искусственная «Луна» — плоское металлическое зеркало,

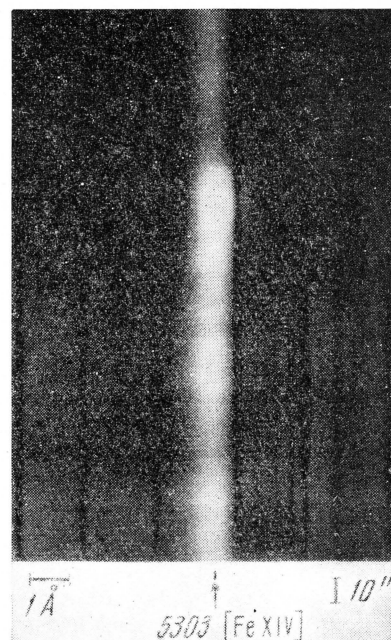


Рис. 3. Спектр короны в области линии 5303 Å, полученный на коронографе ИЗМИРАН—ГАО. Указаны масштабы вдоль дисперсии (в ангстремах) и в перпендикулярном дисперсии направлении в геоцентрических секундах (1" равна 700 км на Солнце)

отражающее фотосферное излучение в сторону. Фокусировка изображения Солнца на «Луну» в различных длинах волн осуществляется перемещениями объектива в пределах 50 см. Линза поля L строит изображение объектива на диафрагме D , устраивающей дифракционное кольцо. В плоскости диафрагмы расположены также небольшие экраны, которые закрывают наиболее яркие источники рассеяния света (крупные пузырьки и блики). За диафрагмой находится диагональное зеркало, отражающее пучок света в постоянном направлении в полость часовой оси инструмен-

* Нерегулярные исследования спектра короны для частных научных задач проводятся также в Ленинграде (ГАО АН СССР), Москве (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР — ИЗМИРАН), Абастумани (Астрофизическая обсерватория АН ГрузССР) и в Иркутске (Сибирский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн — ИЗМИР СО АН СССР).

та. Внутри часовой оси вмонтирована система объективов, строящая с увеличением в 1,7 раза изображение искусственной «Луны» и короны на щели дифракционного спектрографа. Спектрограф, расположенный в нижнем этаже павильона, имеет дифракционную решетку работы Ф. М. Герасимова (Государственный оптический институт). Размеры решетки 230×250 мм число штрихов — 600 на 1 мм. Диаметры коллиматорного и камерного зеркал соответственно 360 и 420 мм, а фокусы — 8 м. При таких характеристиках спектрограф позволяет изучать корону и хромосферу с дисперсией в 1 Å/мм при диаметре солнечного изображения на щели, равном 125 мм. Разрешение спектрографа равно 0,05 Å.

Управление всеми узлами коронографа дистанционное электрическое может осуществляться с одного пульта, там, где обычно находится наблюдатель, — возле спектро-

графа. Часовой механизм коронографа — электрический (кварцевый генератор с заданной стабильной частотой). Имеются грубые и тонкие корректирующие движения по обоим экваториальным координатам. Вся электронная часть прибора — оригинальная разработка инженера СКБ ИЗМИРАН В. А. Фомина.

Коронограф ИЗМИРАН — ГАО является крупнейшим в мире. До создания этого инструмента крупнейшими считались коронографы (главные объективы 40 см/7 м), установленные на горных обсерваториях Клаймакс и Сакраменто Пик (США). Однако ряд неудачных особенностей оптической схемы этих коронографов должен приводить к увеличению количества рассеянного света. Так, диагональное зеркало, помещенное до диафрагмы Лيو, может значительно (до 10 раз) увеличить рассеянный свет.

Предварительный (до окончания оптической юсти-

ровки) снимок (рис. 3) зеленой линии короны с длиной волны 5303 Å (Fe XIV), полученный на новом коронографе сотрудником Горной станции В. И. Макаровым, свидетельствует о хороших качествах инструмента, на котором в этом году будут уже проведены серьезные наблюдения. В частности, предполагается исследовать переходную область между короной и хромосферой, где возникает существенная часть жесткого коротковолнового излучения.

Уже закончен монтаж аналогичного коронографа на солнечной обсерватории ИЗМИР СО АН СССР близ Иркутска. СКБ ИЗМИРАН СССР изготавливает сейчас коронографы для Абастуманской обсерватории АН ГрузССР и Солнечной станции Астрофизического института АН КазССР. В ближайшие годы станут возможными объединенные научные исследования солнечной короны с мощными приборами.



(Начало на стр. 56)

«Витязь» вышел из Владивостока 24 декабря 1966 г. Проведя в Индийском океане работы на гидрологическом полигоне, он 15 апреля встретился с «Академиком Курчатовым» у острова Сокоatra. Затем оба судна направились для совместных работ на геофизический полигон, расположенный в рифтовой зоне центральной части Аравийско-Индийского хребта (Карлсберг).

Геофизическая съемка, сделанная на этом полигоне, выявила сравнительно зрелую стадию развития рифтового ущелья, имеющего ширину около 20 миль и ограниченного почти отвесными уступами высотой более 1500 м. Вдоль ущелья обнаружено аномальное магнитное поле, а также аномалии гравитационного поля. Двумя судами велось глубинное сейсмическое зондирование с применением автономных станций с регистрацией волн на максимальном удалении более 70 миль. Донный сейсмограф зафиксировал резкое повышение сейсмической активности рифтовой зоны. Драгированием через эту зону получены многочисленные образцы базальтов, а также образцы коренных пород — крупнозерни-

стых гардбургитов (перидотитов), предположительно являющихся породами верхней мантии. Образцы пород позволят провести все виды анализов, отобрать материал для определения абсолютного возраста.

В течение этого рейса суда посетили порты Момбаса (Кения), Виктория (Сейшельские острова), Диего-Гарсиа (архипелаг Чагос), острова Дерош, Родригес, Реюньон. При заходах и высадках на острова собраны интересные ботанические, биологические и другие коллекции. Плановые работы были закончены. После этого «Витязь» направились во Владивосток, «Академик Курчатов» — в Калининград.

А. А. ГОНЧАРЕНКО

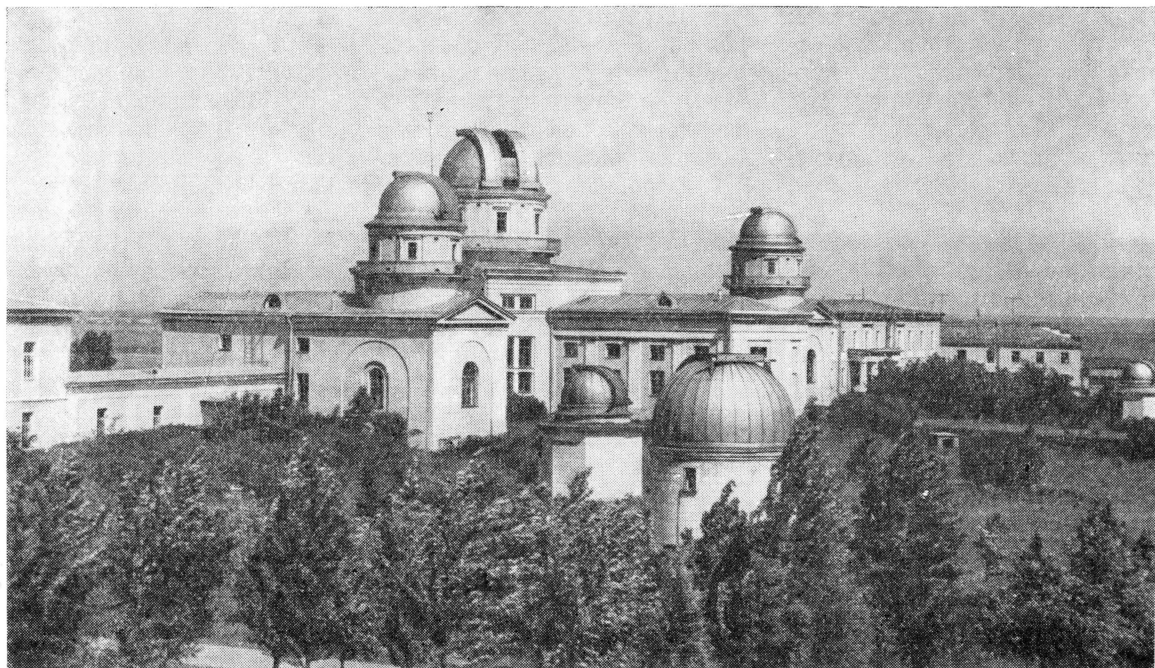
Советское Пулково

А. Н. ДАДАЕВ,
кандидат физико-математических наук

За полстолетия советской власти, и особенно резко за последние 10—12 лет, облик Пулковской обсерватории коренным образом изменился по сравнению с прежним, до-революционным.

Обсерватория была основана в 1839 г. выдающимся астрономом прошлого века В. Я. Струве (1793—1864), чья деятельность целиком отразилась на облике обсерватории в первые десятилетия

ее существования, хотя облик научного учреждения, конечно, определяется не деятельностью отдельной личности, а состоянием науки вообще, и, в частности, в данной стране. Струве глубоко



Пулковская обсерватория после восстановления

Фото Б. К. Багильдинского

понимал задачи современной ему астрономии и нашел правильное направление развития Обсерватории. Занимаясь, главным образом, вопросами позиционной астрономии, Обсерватория создала первоклассные по точности каталоги звездных положений, доставившие ей мировую известность и славу «астрономической столицы мира».

Пулковская научная школа стала действительно школой отечественных и зарубежных астрономов. Методы наблюдений и инструменты являются и поныне образцами в классической отрасли наблюдательной астрономии, связанной с созданием звездных каталогов, которые и теперь служат и чисто научным, и чисто практическим целям.

Во второй половине прошлого века начала развиваться новая отрасль астрономии — астрофизика, зарождение которой вместе с внедрением фотографии в астрономию отразилось на профиле деятельности Обсерватории. Появилась новая плеяда пулковских ученых: Ф. А. Бредихин, А. А. Белополюский, А. П. Ганский, С. К. Костинский, Г. А. Тихов, сыгравших важную роль в истории астрономической науки в России.

Послереволюционный период (до Отечественной войны 1941—1945 гг.) характеризуется, прежде всего, широким развитием в Пулкове методов прикладной астрономии и астрофизики. Возникают и приобретают значительный размах астрономические службы: служба времени (А. А. Иванов, Н. Н. Павлов), служба широты (В. Р. Берг, С. В. Романская), служба Солнца (М. С. Эйгенсон, М. Н. Гневышев). Здесь же

необходимо отметить великолепный «Каталог геодезических звезд» (Н. В. Циммерман). В 30-е годы появились и серьезные исследования по теоретической астрофизике (Б. П. Герасимович, В. А. Амбарцумян, Н. А. Козырев). Поскольку объем научно-исследовательских работ, а также практическое значение проводимых исследований сильно возросли, намного увеличился штат Обсерватории, и к 1940 г. он в три раза превосходил довоенный.

Во время войны и блокады Ленинграда (август 1941—январь 1944 гг.) Пулковская обсерватория, находившаяся на переднем крае обороны города-героя, была до основания разрушена бомбардировками с воздуха и артиллерийско-минометным обстрелом немецко-фашистских войск. Почти одновременно в Симеизе был уничтожен и разграблен Крымский филиал Пулковской обсерватории. Но в тяжелые военные годы, несмотря на потери в наблюдательной технике и в людях, пулковские астрономы продолжали трудиться в тылу и завершили ряд крупных исследований в области звездной астрономии, астрофизики и астрофотографии (С. И. Белявский, А. Н. Дейч, В. А. Крат, О. А. Мельников).

Еще до окончания войны, в марте 1945 г., начались восстановительные работы на Пулковском холме. Обсерваторию возглавил неутомимый наблюдатель и организатор профессор Г. Н. Неуймин (1886—1946), к несчастью рано скончавшийся. Эстафету восстановления принял А. А. Михайлов (тогда член-корреспондент АН СССР, а с 1964 г. — академик), умело и успешно руководивший об-

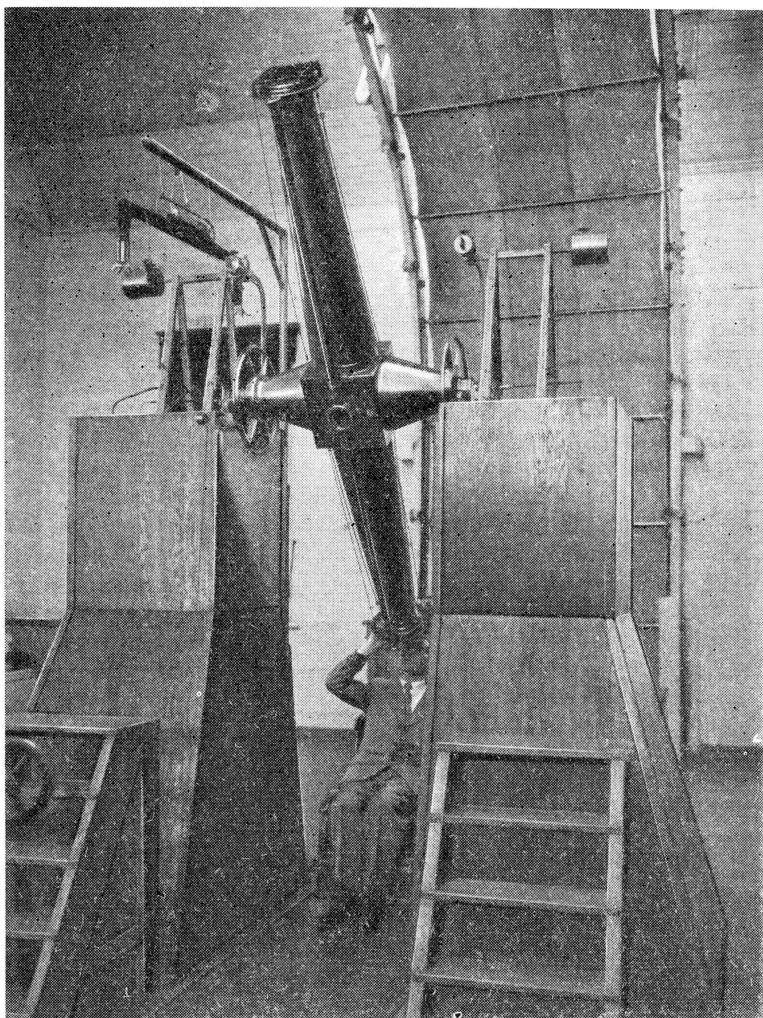
серваторией в течение восемнадцати лет. К 1953 г. восстановление в основном завершилось. По существу Обсерватория была не просто восстановлена, а была построена заново в значительно больших масштабах, чем довоенные.

Обсерватория обогатилась новыми инструментами и лабораторным оборудованием, большей частью отечественного производства (до революции и в первые годы после революции оборудование привозилось из-за границы). Изменилась структура Обсерватории. В довоенной Обсерватории имелось четыре научных отдела (астрометрии, астрофизики, службы времени и службы Солнца); в 1953 г. Президиумом Академии наук СССР были утверждены восемь отделов: фундаментальной астрометрии (М. С. Зверев), астрономических постоянных (А. А. Михайлов), службы времени (Н. Н. Павлов), фотографической астрометрии (А. Н. Дейч), физики звезд (О. А. Мельников), физики Солнца (В. А. Крат), радиоастрономии (С. Э. Хайкин), астрономического приборостроения (Д. Д. Максудов). Названия отделов говорят о профиле научной деятельности Обсерватории. Бурное развитие радиоастрономии, электроники, вычислительной техники, появление искусственных спутников Земли, использование ракетных средств и стратостатов для астрономических наблюдений внесли существенные коррективы в структуру, организацию и характер деятельности обсерватории. Уж не в восьми, а в шестнадцати отделах (включая иногородние филиалы) разрабатываются различные проблемы. Возникли такие

отделы, как Лаборатория электронной фотографии, Вычислительная станция, Отдел экспериментальной астрономии и другие. Научный и научно-технический персонал превышает 300 человек (в 1916 г. он составлял 26 человек).

Только две проблемы — создание каталогов звездных положений и определение астрономических постоянных — сохранили традиционные связи с первоначальными научными задачами обсерватории, которые были определены ее основателем. Но постановка и этих задач теперь существенно иная. Во времена Струве первые каталоги создавались на строго научной основе, выражавшейся в так называемом абсолютном методе определения координат звезд. Для абсолютных определений было избрано на небе около 350 ярких звезд, т. е. таких, которые в общем находятся в окрестностях Солнца. На этой основе могли быть выведены движения тех же звезд относительно Солнца. Динамическая картина солнечных окрестностей открывала возможности для изучения распределения и движений более отдаленных звезд. Таким образом, астрономией прошлого века, причем в большой мере трудами пулковских астрономов, была заложена база позиционной и звездной астрономии XX века.

Ныне поставлена и решается проблема создания базы астрономии будущего века. В Пулковке закончены новые абсолютные каталоги 1046 ярких и слабых звезд (руководители — А. А. Немиро и Г. С. Косин); в Пулковской обсерватории и Николаевском отделении (на Украине) получен обширный на-



Большой пассажный инструмент Струве — Эртеля. У инструмента — профессор А. А. Немиро

Фото А. А. Михайлова

блюдательный материал по программе «Каталога слабых звезд»* — определения координат 20 000 звезд относительными методами (М. С. Зверев, Д. Д. Положенцев, Я. Е. Гордон). Эта программа носила международный характер, и, в соединении с

американским списком, общее число наблюдавшихся звезд составило 35 000. В работе приняли участие 15 обсерваторий, в том числе 5 советских.

Для определения собственных движений звезд, входящих в «Каталог слабых звезд», получены снимки «первых эпох» отдельных участков неба (А. Н. Дейч, Н. В. Фатчихин). Снимки

* М. С. Зверев. Новое в советской астрометрии за 50 лет. «Земля и Вселенная» № 5, 1967 г.

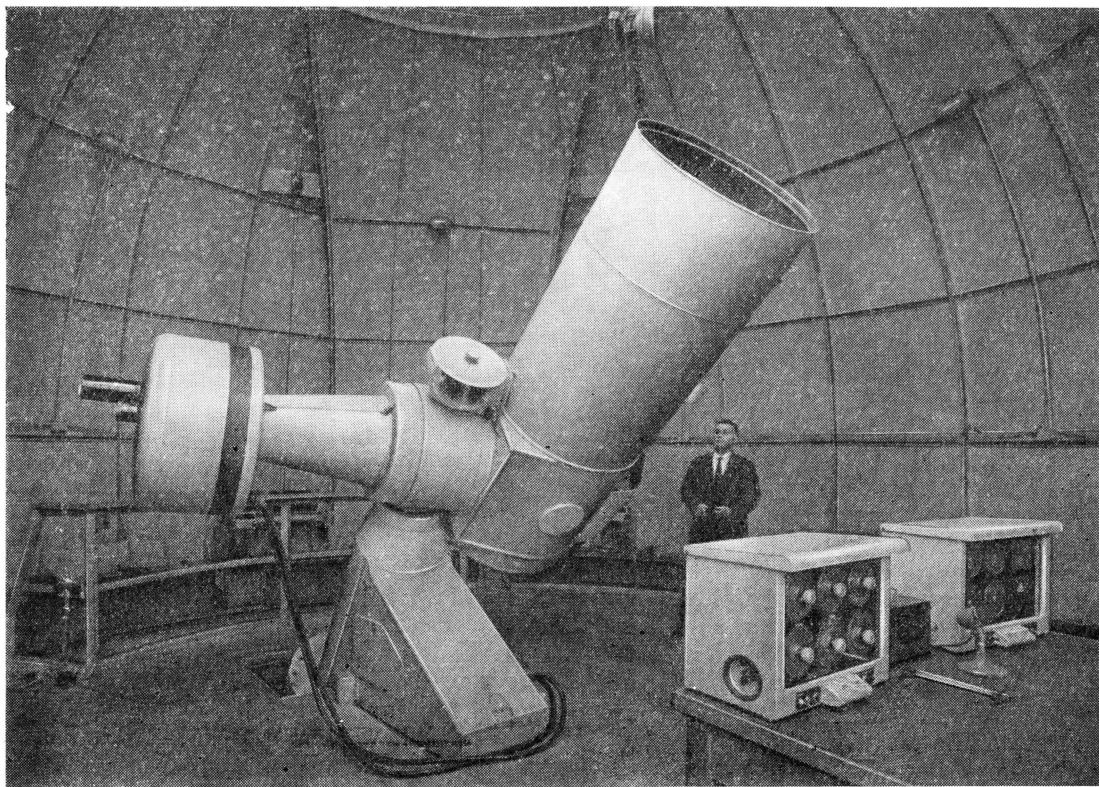
«вторых эпох» будут производиться через десятки лет, а из сопоставления первых и вторых эпох будут выведены собственные движения звезд, причем движения звезд определяются по отношению к практически неподвижным объектам — удаленным галактикам. Чтобы ориентировать в пространстве плоскость земной орбиты, с которой связана система отсчета координат наблюдаемых звезд, фотографировались малые планеты. Работы по программе «Каталога слабых звезд», завершённые северными обсерваториями, перенесены в южное полушарие: с 1962 г. в Чили, близ столи-

цы Сантьяго, функционирует постоянная экспедиция пулковских астрономов, работающих совместно с чилийскими учеными. Используя более ранние снимки, в Отделе фотографической астрометрии за послевоенные годы определили собственные движения свыше 30 000 звезд (В. В. Лавдовский, Н. М. Бронникова, З. И. Кадла).

После запуска первых искусственных спутников Земли в Пулкове была сконструирована и изготовлена аппаратура, а также организована станция для их наблюдений, разработана методика определения координат быстро движущихся небесных объ-

ектов—спутников (Л. А. Панайотов, А. А. Киселев и др.). Наблюдения спутников применены к определению точных расстояний между геодезическими пунктами, удаленными друг от друга на тысячи километров (Д. Е. Щеголев). Так классические задачи по определению координат небесных светил переплетаются с самыми современными.

Требования неуклонного повышения точности наблюдений заставляют постоянно разрешать вопросы методического и инструментального характера. Непрерывное совершенствование методов и средств наблюдений — одна



Экспериментальный телескоп-рефлектор с диаметром зеркала 700 мм, изготовленный в мастерских Пулковской обсерватории

Фото А. А. Михайлова

из особенностей развития Пулковской обсерватории; эта особенность теперь стала характерной чертой бурно развивающейся астрономии последних лет. Рядом с обсерваторией вырос экспериментальный корпус с мощными оптико-механическими мастерскими и конструкторским бюро, конструкторские задачи решаются и в каждом научном отделе. Так, в Астрометрической лаборатории создана модель горизонтального меридианного инструмента (Л. А. Сухарев); в Отделе фундаментальной астрометрии — фотографический вертикальный круг и пассажный инструмент (новые приборы для определения координат звезд, изготовленные в мастерских Обсерватории для Чилийской экспедиции); в Отделе астрономических постоянных — полярная труба (А. А. Михайлов), машина для автоматического измерения снимков Луны (Н. Ф. Быстров), экспедиционный астрограф (Х. И. Поттер). Примеры неисчерпаемы.

В 1939 г. профессор Н. Н. Павлов разработал и внедрил в службу времени метод фотоэлектрической регистрации звездных прохождений через меридиан. После войны Н. Н. Павлов усовершенствовал пассажный инструмент, изменил конструкцию павильона и добился наибольшей в мире точности астрономических определений времени. Под руководством Н. Н. Павлова созданы особенно точные каталоги прямых восхождений звезд и выполнены интересные и важные исследования неравномерности вращения Земли.

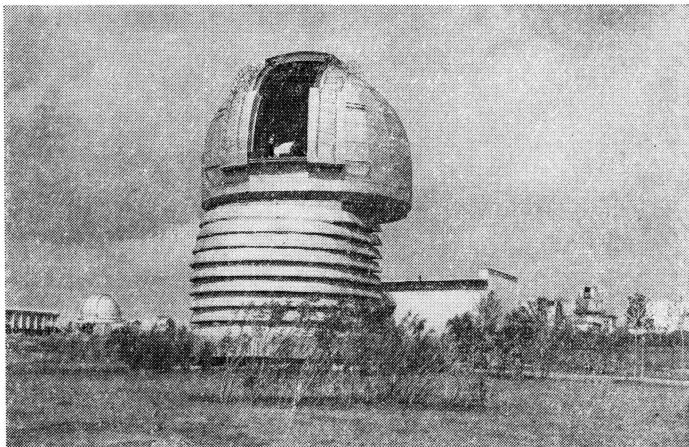
На новый уровень поднялась служба широты. Ее сотрудники исследуют коле-

бания географической широты Пулкова, происходящие из-за изменений момента инерции и оси вращения Земли. В 1957 г., в период Международного геофизического года, в Пулкове был установлен новый широкоугольный зенит-телескоп, и тогда же организован еще один филиал Пулковской обсерватории — широтная станция в Благовещенске (на Амуре), где смонтировали такой же зенит-телескоп. Совместно со станциями в Европейской части СССР Благовещенская станция позволила установить независимую от международной советскую службу координат полюса, имеющую большое практическое значение. Комплекс наблюдений Благовещенской станции значительно увеличился за 10 лет ее существования.

Говоря о филиалах, следовало бы прежде всего назвать Горную станцию близ Кисловодска, основанную М. Н. Гневышевым в 1948 г. Но до сих пор речь шла об

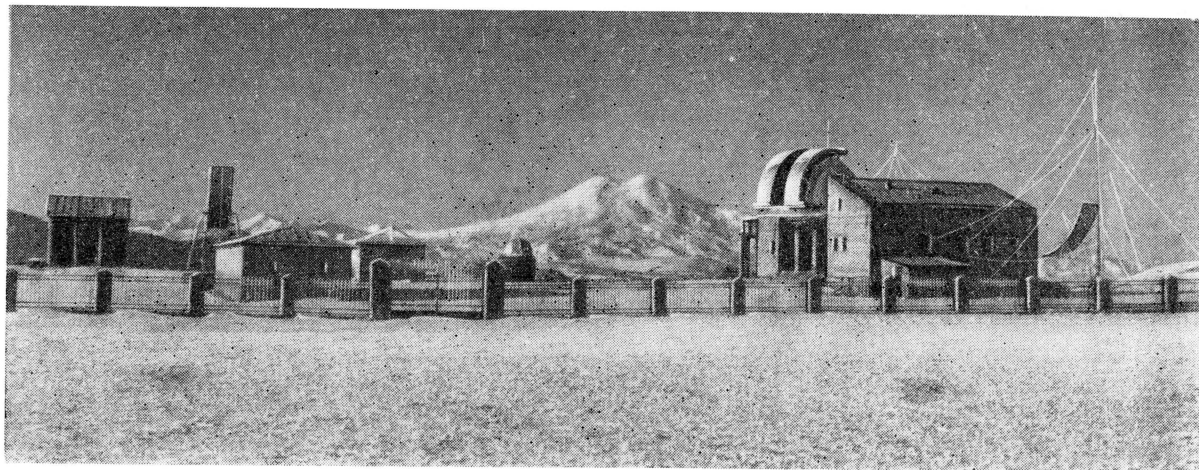
астрометрии, а деятельность Горной станции связана с астрофизикой, точнее станция выполняет задачи службы Солнца. Расположенная на высоте 2070 м над уровнем моря солнечная обсерватория ныне оснащена разнообразным оборудованием для комплексных наблюдений всех слоев атмосферы Солнца с целью прогнозирования солнечной активности. Чистый горный воздух позволяет проводить регулярные наблюдения солнечной короны. В прошлом году на Кисловодской станции установлен самый крупный в мире внеатмосферный коронограф с диаметром объектива 50 см. Коронограф построен в Пулкове совместно с Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР.

В самом Пулкове исследование Солнца проводится на двух мощных солнечных телескопах. Такой же телескоп — первенец отечественной промышленности — был



Башня 700-миллиметрового рефлектора. Оригинальная конструкция башни, обеспечивающая ее быстрое охлаждение воздухом, разработана в Конструкторском бюро Обсерватории

Фото А. А. Михайлова



Горная астрономическая станция близ Кисловодска, где проводятся комплексные — оптические и радиоастрономические наблюдения Солнца

Фото М. Н. Гневывшева

изготовлен в Ленинграде в 1940 г. по проекту и под руководством крупнейшего специалиста по астрономическому приборостроению Н. Г. Пономарева, погибшего во время блокады. Во время войны солнечный телескоп был разрушен. В 1951 г. был построен новый и установлен в Пулковке. Второй телескоп смонтирован в 1965 г. С 1951 г. Отдел физики Солнца возглавляет нынешний директор Обсерватории профессор В. А. Крат. Под его руководством выполнены исследования, охватывающие все основные разделы гелиофизики: изучение тонкой структуры фотосферы и хромосферы (Т. В. Крат, Н. М. Гольдберг), динамики и развития солнечных образований (И. А. Прокофьева, Г. Я. Васильева), неоднородностей и изменений состава солнечной атмосферы локально и во времени (В. М. Соболев, В. Н. Зуйков), поиски слабых спектральных линий различных элементов (В. Н. Карпинский), регистрация маг-

нитных полей на Солнце (Л. М. Котляр, Г. Ф. Вяльшин, Р. Н. Ихсанов), прогнозирование солнечной активности (Б. М. Рубашев, Ю. И. Витинский).

Выполнение этих работ также связано с разработкой новых методов и конструированием аппаратуры: спектрографов высокой разрешающей силы, оригинального коронографа, магнитографов и другого оборудования. Особенно следует отметить создание аппаратуры для наблюдений с баллонов и успешную автоматическую регистрацию солнечного спектра и фотосферной грануляции с высоты 20 км при запуске стратостата 1 ноября 1966 г.

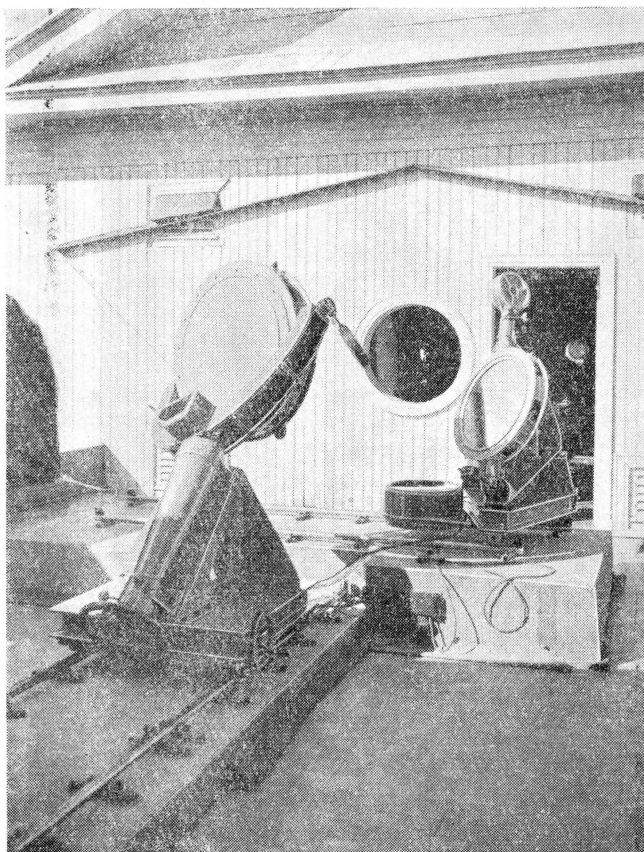
С выводом наблюдательных средств за пределы земной атмосферы особую актуальность приобрели наземные наблюдения ближайших небесных тел — Луны и планет. Такие наблюдения интенсивно ведутся в Пулковке уже около десяти лет. Это — температурные измерения

лунных деталей на дневной и ночной стороне (А. В. Марков, Ю. Н. Чистяков), сравнительные поляриметрические и фотометрические исследования (Е. К. Кохан, Н. С. Орлова), открытие вулканизма на Луне (Н. А. Козырев, ноябрь 1958 г.), телевизионные фотографии лунной поверхности (Н. Ф. Купревич), наблюдения планет и их спутников в инфракрасных лучах (А. А. Калиняк), спектральное изучение планет (Н. А. Козырев, Т. А. Положенцева). Опыт наблюдений наземными средствами был использован для расшифровки фотографий обратной стороны Луны, полученных с помощью автоматических межпланетных станций «Луна-3» (7 октября 1959 г.) и «Зонд-3» (25 июля 1965 г.).

Еще первые пулковские астрофизики Б. Гассельберг и А. А. Белополюский сочетали астрофизические наблюдения с лабораторным экспериментом. В новом Пулковке по инициативе члена-коррес-

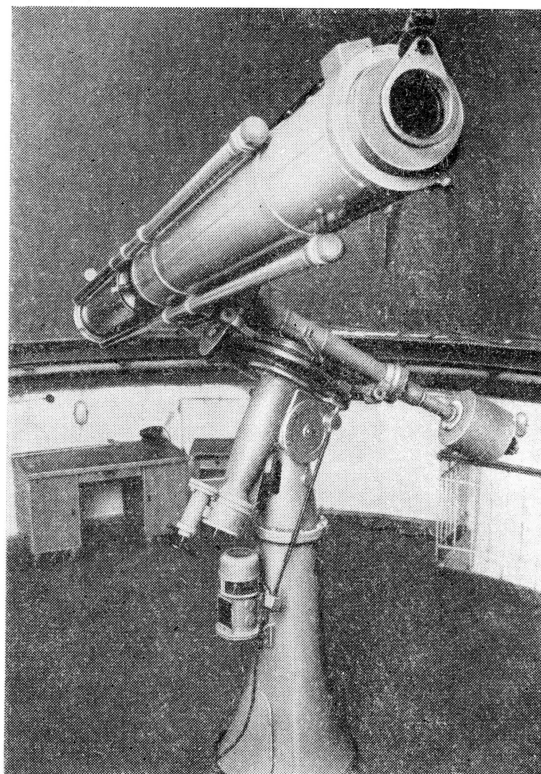
пондента АН СССР О. А. Мельникова организована мощная, оснащенная лаборатория, где имитируются условия, существующие в межзвездной среде и звездных атмосферах. С помощью 100-метровой газовой трубы изучается поведение спектральных линий газов при различных давлениях и разных оптических толщах (Л. А. Митрофанова, Л. Н. Жукова); в ней также будут создаваться искусственные планетные атмосферы для проверки гипотез об их химическом составе.

Радионаблюдения в Пулковской обсерватории начались



Целостатная часть горизонтального солнечного телескопа Н. Г. Пономарева — Д. Д. Максутова

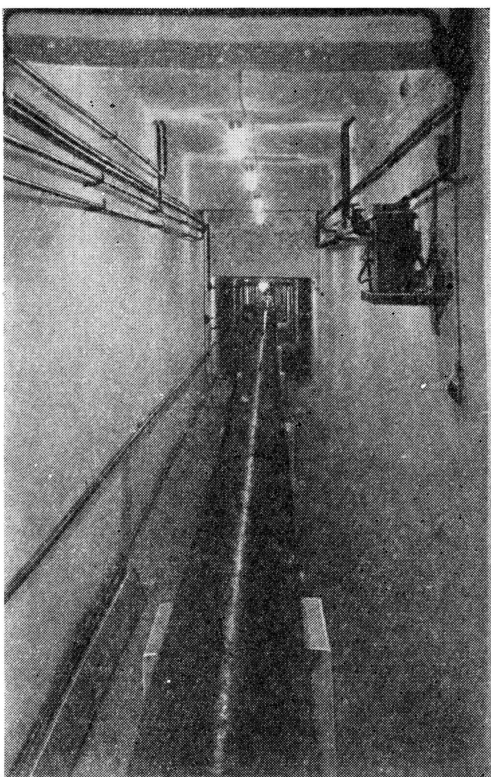
Фото А. А. Михайлова



Внеатмосферный коронограф И. А. Прокофьевой, позволяющий наблюдать спектральные линии солнечной короны непосредственно в Пулковской обсерватории, в отличие от других коронографов, с помощью которых корону наблюдают лишь в высокогорных условиях

Фото А. Ф. Сухоноса

лишь сравнительно поздно, в 1956 г., когда такими исследованиями уже занимались два—три десятка обсерваторий в СССР и за рубежом. Однако выбор диапазона сантиметровых волн и сооружение радиотелескопа с веерной антенной (по идее С. Э. Хайкина и Н. Л. Кайдановского) и с высокой разрешающей способностью (до 1 минуты дуги) позволили коллективу отдела пойти по еще неизведанным путям. Например, пулковским радионаблюдателям удалось наблюдать распределение «радиояркости» излучения по дискам



100-метровая труба в подземном туннеле предназначена для изучения поведения спектральных линий газов при разных давлениях и оптических толщах

Фото А. Ф. Сухоноса

Солнца, Луны (Г. Б. Гельфрейх, В. Н. Ихсанова, Н. Л. Кайдановский) и в некоторых локальных источниках, для которых определены размеры и массы, а также обнаружить плотное ядро Галактики в радиоизлучении на волне 3 см (Ю. Н. Парийский). Благодаря созданию малошумящих параметрических уси-

лителей на волне 3 и 10 см и разработке особой методики наблюдений в 1962 г. было доказано убывание к краю радиояркости на диске Венеры (Д. В. Корольков, Г. М. Тимофеева, Ю. Н. Парийский). Из этих наблюдений следует, что высокотемпературное излучение исходит с поверхности планеты, а не

из ее ионосферы. Результат пулковских радиоастрономов был подтвержден данными межпланетных станций «Маринер-2» и «Венера-4».

Большое внимание уделяется исследованию структуры спиральных ветвей Галактики по излучению водорода на волне 21 см (Н. Ф. Рыжков, Т. М. Егорова, И. В. Госачинский, Н. В. Быстрова), поискам новых спектральных линий излучения (А. Ф. Дравских), изучению круговой и линейной поляризации радиоизлучения небесных светил (Д. В. Корольков, Н. С. Соболева). Много времени и внимания поглощает создание новой радиоастрономической аппаратуры, конструирование новых моделей. Например, в Пулкове был разработан и выдвинут на обсуждение проект международного радиотелескопа-гиганта.

Организованный в 1952 г. Отдел астрономического приборостроения поставил своей главной задачей разработку технических заданий на сооружение большого оптического телескопа с диаметром зеркала 4—6 м. Уже выполнены многочисленные расчеты, наброски, испытания моделей (Д. Д. Максудов, Н. Н. Михельсон, Б. К. Иоаннисиани и другие), проведены экспедиции в различные районы страны, окончательно выбрано место строительства новой обсерватории и начаты строительные работы.

И само Пулковское продолжает развиваться.



СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

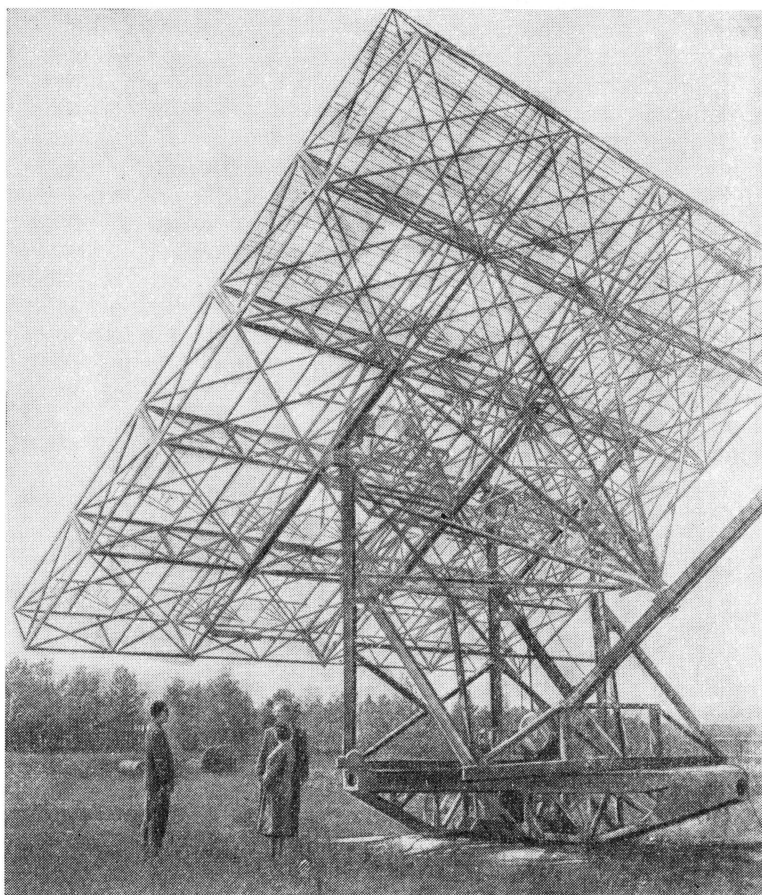
Участники Года спокойного Солнца подводят итоги

Прошло более года после окончания МГСС — одного из величайших научных мероприятий современности. Ученые 70 с лишним стран в продолжение 24 месяцев по заранее согласованной программе изучали Солнце и связанные с ним явления на Земле.

Во время МГСС в Мировых центрах по сбору геофизических данных (один из которых находится в Москве) накопились сотни тысяч бланков и таблиц, многокилометровые ленты магнитограмм и ионограмм, пленок со снимками Солнца и полярных сияний. Десяткам научно-исследовательских институтов, университетов, лабораторий, вычислительных бюро были поручены обработка и изучение бесценных первичных данных.

Результаты этих исследований обсуждались на Всесоюзной конференции по научным итогам МГСС, созванной в Москве в начале нынешнего года. В ее работе приняло участие около 700 советских специалистов.

В небольшой статье невозможно даже перечислить все



Антенна для изучения радиоизлучения Солнца (ИЗМИРАН)

доклады этой крупнейшей конференции. Естественно, здесь придется говорить лишь о наиболее общих и значительных работах. Многие из них касаются проблем солнечной активности. Из анализа десяти 11-летних солнечных циклов и сопоставления данных за период «бурного» и «спокойного» состояния светила установлено, что на стыке 11-летних циклов происходит одновременное повышение активности в высоких и низких гелиоширотах.

Важные гелиомагнитные исследования, проведенные в последнее время, привели к выводу о том, что на полусферах Солнца поле одного знака полярности отсутствует. Общее магнитное поле нашего светила, как оказалось, состоит из многочисленных элементов с различной напряженностью, полярностью и размерами. Наблюдения, выполненные в период МГСС, говорят в пользу магнитной асимметрии Солнца, которое иногда ведет себя подобно «монополю» и, видимо, близко к звездам с магнитно-переменным характером.

Внимание геомагнитологов было приковано к другому «концу» цепи солнечно-земных связей — к магнитному полю Земли. Измерения, проведенные советской немагнитной шхуной «Заря», позволили внести существенные уточнения в магнитные карты океанов. Измерения, выполненные с помощью бортовой аппаратуры искусственных спутников Земли, показали, что геомагнитное поле в высоких широтах «выметается»двигающимся со сверхзвуковой скоростью потоком солнечной плазмы с дневной стороны Земли на

ее ночную сторону. Установлено, что в период спокойного Солнца интенсивность магнитного поля на расстоянии в три — пять земных радиусов от нашей планеты понижена.

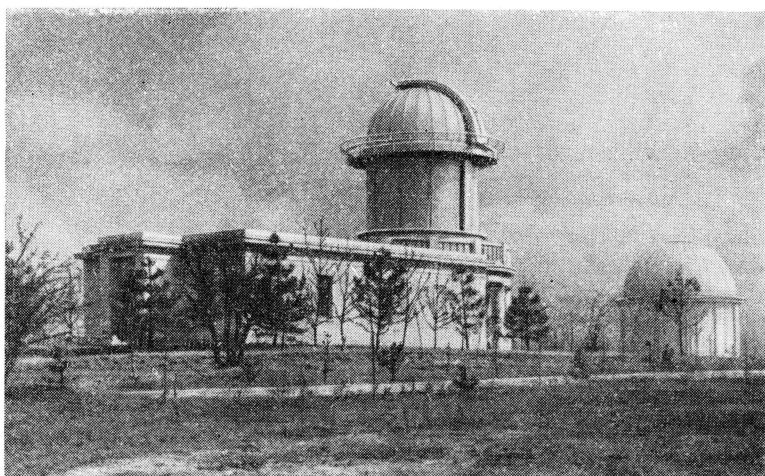
Значительное внимание на конференции было уделено теории геомагнитных возмущений и связанных с ними явлений. Была отмечена важная роль межпланетного магнитного поля, определяющего эффективность воздействия солнечной плазмы на магнитосферу Земли. Исследование микропульсаций геомагнитного поля — ценный источник информации о процессах, происходящих при обтекании магнитосферы Земли солнечным ветром. Именно микропульсации доказывают само существование гидромагнитных волн в магнитосфере планеты. Оказалось возможным сформулировать выводы о новых индексах активности магнитного поля, которые могут быть использованы для диагностики состояния магнитосферы.

МГСС ознаменовался но-

выми исследованиями в области полярных сияний. Сейчас в распоряжении наших ученых имеется фильмотека, насчитывающая десятки тысяч фотографий, миллионы спектров. На конференции рассматривалось пространственно-временное распределение полярных сияний различных типов как во время высокой, так и низкой солнечной активности, подробно обсуждалась природа различных типов полярных сияний, их связь с солнечной активностью.

В настоящее время с помощью нового, весьма эффективного метода ракетного зондирования изучается состав заряженных частиц в сияниях, их энергия и высоты.

На конференции живо обсуждались результаты исследования космических лучей, полученные при полете советских искусственных спутников Земли и межпланетных автоматических станций. Эксперименты позволили сопоставить поведение космических лучей и радиационных поясов в годы минимума



Башня коронографа Крымской обсерватории (справа). На переднем плане — башенный солнечный телескоп

Фото А. Балковского

и в годы максимума активности Солнца. Оказалось, что при переходе от «бурного» к «спокойному» Солнцу скорость солнечного ветра, напряженность межпланетного магнитного поля, протяженность области, где происходит модуляция космических лучей, возрастают. Установлено, что минимальная скорость солнечного ветра, по-видимому, не менее 200 км/сек.

Впервые проанализированы 11-летние вариации космических лучей по измерениям, выполненным за границами магнитосферы планеты, измерен градиент их интенсивности в период солнечного минимума, когда к Солнцу и от него одновременно двигались межпланетные станции «Венера-2» и «Зонд-3». Удалось сделать вывод о большей, чем предполагалось, протяженности «хвоста» магнитосферы Земли, который, видимо, простирается до орбиты Луны и даже далее. Значительно изменилось представление о составе космических лучей. Если еще сравнительно недавно считалось, что около 90% их составляют протоны, то теперь новые данные («Протон-1») убеждают, что этих частиц в космических лучах высоких энергий значительно меньше.

Ракеты и спутники позволили получить новые профили электронной концентрации, размеры и характеристики неоднородностей в ионосфере, ценные сведения о структурных параметрах верхней атмосферы. Данные о торможении спутников выявили вариации плотности верхних слоев атмосферы в зависимости от изменения солнечной активности. Сделан существенный вывод о том, что в период минимума

солнечной активности скорость дрейфа частиц в ионосфере увеличивается по сравнению с годами максимума. Удалось проследить тесную корреляцию атмосферной плотности и температуры с потоком солнечной радиации в дециметровом диапазоне энергий.

Новые сведения о циркуляционных процессах в верхней атмосфере, как было показано в ряде докладов на конференции, получаются в результате измерений дрейфа метеорных следов. Была продемонстрирована уникальная серия последовательных парных снимков одних и тех же метеорных следов, которая показывает сложную временную и пространственную структуру воздушных течений на больших высотах.

Один из важных и в то же время весьма сложных аспектов солнечно-земных связей — воздействие процессов на Солнце на метеорологические явления. Во время МГСС эти проблемы подвергались комплексному исследованию силами астрофизиков, геомагнитологов, климатологов и метеорологов. В последнее время исследователи склоняются к мнению, что агентом, вносящим возмущения в циркуляцию атмосферы, являются скорее заряженные частицы (корпускулярное излучение Солнца), чем волны (рентгеновское, ультрафиолетовое, радиоизлучение Солнца).

На конференции рассматривались возможные механизмы воздействия на планетарные атмосферные процессы потока частиц высоких энергий, приходящих непосредственно от Солнца, и потоков мягких частиц, подвергающихся ускорению в магнитосфере Земли. Предпола-

гается, что более «мягкие» представители этого потока поглощаются на значительных высотах и вызывают в полярных широтах тепловые эффекты. Более жесткие же частицы могут проникать в тропосферу и вызывать квазигоризонтальные смещения воздуха в умеренных широтах. Причиной некоторых внезапных потеплений многие исследователи считают солнечные протонные вспышки.

В период МГСС широко исследовался режим солнечной радиации. Как отмечалось на конференции, точные выводы о влиянии уровня солнечной активности трудно было получить из-за сильной замутненности атмосферы большими вулканическими извержениями. Слои аэрозоля, ослабляющие радиацию, часто наблюдаются на высотах 12—20 км, но они, по-видимому, могут оказывать некоторое влияние и выше этого уровня.

Немалое внимание привлекли продемонстрированные впервые снимки облаков в окне прозрачности инфракрасной части спектра, которые были получены со спутника «Космос - 122». С интересом обсуждались результаты теоретических и экспериментальных исследований связи атмосферной циркуляции с 27-дневным, 11-летним, 22-летним и 80-летним циклами солнечной активности.

Серебристым облакам как индикатору процессов в верхней атмосфере был посвящен ряд важных сообщений, излагавших результаты изучения мезосферы, происхождения водяных паров на высотах, где эти облака наблюдаются. Ракетное зондирование атмосферы в зоне этих

облачных образований дало сведения о концентрации атомарного кислорода и молекул H_2O в 65—100 км над земной поверхностью.

...Практически невозможно осветить все направления многосторонних и комплексных исследований, проведенных нашими учеными в период МГСС и ставших

предметом обсуждения на конференции, посвященной его итогам. Все же один вывод, звучавший на всех симпозиумах, секционных и пленарных заседаниях, совершенно очевиден. Успех Международного года спокойного Солнца несомненен. Он вновь доказывает, что изучение Земли наиболее ре-

зультативно только при условии творческого сотрудничества геофизиков всех стран, объединяющихся вокруг общего для них единого объекта — нашей планеты.

Б. И. С И Л К И Н,
научный сотрудник
Межведомственного
геофизического комитета
при Президиуме АН СССР

Международный проект «Верхняя мантия»

При решении проблем строения и развития нашей планеты необходимы исследования, организованные по единой программе и охватывающие весь земной шар. Поэтому геофизики в большей степени, чем ученые некоторых других специальностей, заинтересованы в совместных международных исследованиях.

С середины 50-х годов советские геофизики активно участвуют в работе Международного геодезического и геофизического союза.

В 1960 г. в Хельсинки Ассамблея этого Союза приняла по предложению советской делегации программу исследований, получившую название проект «Верхняя мантия и ее влияние на развитие земной коры», или сокращенно — проект «Верхняя мантия». Новый международный проект не охватывает все геофизические проблемы, но объединяет ученых, изучающих «твердую» Землю. Этот проект перебрал мост меж-

ду геологами, занимающимися изучением верхних слоев Земли, и геофизиками, и физиками, интересующимися преимущественно процессами, происходящими в Земле на значительных глубинах.

В настоящее время установлено, что важнейшей границей в земной оболочке является раздел Мохоровичича, принимаемый за «подошву» земной коры. На этой границе происходит увеличение скорости распространения сейсмических волн. Под горными хребтами эта граница расположена на глубинах 50—60 км, под равнинами — 30—40 км, под глубоководными впадинами океанов — всего 6—10 км от океанического дна. Такое различие в мощности коры определяется изостатической компенсацией, поскольку более легкую земную кору мы можем представить себе как бы плавающей на более тяжелой мантии Земли. Верхняя мантия планеты (нижняя граница которой проходит на глубине

800 км) оказалась также неоднородной. На глубине 100—120 км под континентами и 50 км под океанами обнаружен слой, в пределах которого скорость сейсмических волн немного меньше, чем выше и ниже него. Он известен под названием волновода. Толщина слоя неодинакова: до 150 км под континентами, до 400 км под океанами.

Всесоюзные конференции по проекту «Верхняя мантия» стали у нас в стране отчетами научных учреждений об исследованиях по этой проблеме. На Первой конференции, состоявшейся в 1962 г., было сообщено, что волновод в верхней мантии Земли существует не повсеместно. В вулканических областях, таких, как Курильская островная дуга, верхняя мантия оказалась разуплотненной, что, вероятно, связано с образованием очагов магмы. Тогда же было сообщено о разуплотнении верхней мантии под хребтами

Тянь-Шаня и о некотором уплотнении ее под Ферганской впадиной.

Большое научное значение имела Вторая всесоюзная конференция, проходившая в начале 1967 г. в Москве. Расскажем лишь о наиболее интересных результатах исследований, доложенных на этой конференции.

Советские геофизики получили принципиально новые данные о строении верхних горизонтов мантии на континентах и под океанами. Так, А. В. Егоркин (Министерство геологии СССР) сообщил о результатах сейсмических исследований, выполненных на юге СССР (Кавказ, Прикаспийская впадина, Туркмения). Оказалось, что в меридиональном направлении скорость упругих колебаний в породах верхней мантии выше, чем измеренная по профилям, идущим в широтном направлении. Сейчас трудно дать однозначные объяснения этому удивительному явлению. Можно предположить, что анизотропия скоростей обусловлена неодинаковым горизонтальным давлением в верхней мантии, которое в меридиональном направлении оказывается большим. Другое возможное объяснение — это предположение о том, что сейсмическими методами вскрыты направления древнейших геологических структур, сформировавшихся в архейское время (т. е. более 2 млрд. лет назад) и имевших меридиональную ориентировку, а затем «погруженных» в верхнюю мантию. Подтверждением этому служит меридиональное направление геологических структур в породах архея, выступающих на поверхность в Украинском массиве.

Ровная поверхность дна в океанах позволяла предполагать, что расположенная под океанами верхняя мантия более однородна, чем под материками. Оказалось, однако, иначе. Как сообщил С. М. Зверев, в западной части Тихого океана детальными сейсмическими исследованиями Института физики Земли АН СССР обнаружено, что ниже раздела Мохоровичича верхние слои мантии имеют такое же неоднородное строение, как и земная кора континентов. В верхней мантии обнаружены два структурных этажа, каждый из которых разбит на отдельные блоки, причем блоки в верхнем структурном этаже могут не совпадать с блоками в нижнем. Не доказывает ли этот интересный факт, что на этом месте в океане в недавнем геологическом времени был материк, который затем погрузился? Новые факты сильно подкрепляют позиции тех исследователей, которые защищают представления об относительной молодости океанических впадин, о возникновении океанов на местах материков.

Получено много новых данных о строении коры в различных районах СССР. Детальный профиль глубинного сейсмического зондирования пересекает хребет Большой Кавказ. Под хребтом мощность земной коры оказалась увеличенной до 60 км, против 40—45 км под Куринской депрессией и Предкавказьем. Такой «корень гор» под Кавказским хребтом не был неожиданностью, но принципиальной новостью является то, что это утолщение земной коры возникло в результате раздува «базальтового» слоя, мощность которого под хреб-

том возрастает почти в два раза. Этот факт заставляет пересмотреть многие геотектонические гипотезы, которые, основываясь на менее точных наблюдениях, исходили из представления, что под горами альпийской складчатой области имеет место раздув «гранитного», а не «базальтового» слоя.

На конференции были обобщены предварительные результаты комплексного обобщения всех геофизических материалов по территории СССР. Составлена наиболее обоснованная карта глубин залегания поверхности Мохоровичича для территории нашей страны (т. е. карта толщины земной коры).

В изучении земной коры под океанами наибольший интерес представили исследования, проведенные «Витязем» в Индийском океане. Из рифтовой долины океанического хребта* удалось поднять образец горных пород, возможно состоящий из вещества верхней мантии.

Комплекс геофизических методов, с помощью которых изучают земную кору и мантию, постоянно пополняется. В последние годы получены интересные данные о термическом поле Земли. Измерение теплового потока, идущего сквозь Землю в различных по истории своего развития геологических зонах, позволило установить, что наибольшие величины теплового потока характерны для областей современной тектонической активности. Величина потока закономерно уменьшается по мере перехода от зон молодой складчатости

* См. Е. Д. Заклинская, Г. Б. Удинцев. Под килем «Витязя» — Индийский океан. «Земля и Вселенная», № 1, 1966.

к зонам более древней складчатости.

На основании изучения напряженного состояния в очагах землетрясений, происшедших в самых различных местах планеты, А. В. Введенской (ИФЗ АН СССР) и ее сотрудниками получено поле упругих напряжений Земли. В пределах земного шара выявлены сейсмические зоны с различным типом напряженного состояния. Эти данные важны для построения теории развития земной коры.

Конференция показала, что в последние годы в СССР достигнуты значительные успехи в области изучения физических свойств горных пород в условиях давлений и температур, господствующих в нижних слоях коры и в верхней мантии. Создана необходимая аппаратура, позволяющая воспроизводить процессы, происходящие в мантии Земли на глубине многих десятков километров. Мы стали больше знать об условиях преобразования горных пород при давлениях от 10 000 до 50 000 атмосфер и высоких температурах.

На конференции не только сообщались новые факты, добытые напряженным трудом больших коллективов ученых. Значительное число выступлений было посвящено обсуждению полученных материалов, интерпретации и обобщению накапливающейся информации о земных недрах.

Наибольшее признание на конференции получили представления о глубинной дифференциации вещества верхней мантии как наиболее вероятной причине поверхностных геологических явлений. Источники вулканической магмы, по-видимому, распо-

лагаются в волноводе верхней мантии, где они формируются в результате частичного расплавления.

Хотелось бы отметить, что в процессе накопления сведений о строении земных недр не все наблюдаемые факты находят удовлетворительные объяснения. К их числу в первую очередь относятся данные магнитологов о несопадении направления вектора намагниченности горных пород на разных континентах земного шара. Этот факт, как будто, должен свидетельствовать о перемещении материков относительно друг друга за время, прошедшее после образования этих намагниченных горных пород. Однако предположение о дрейфе материков находится в противоречии со столь значительной суммой как физических, так и геологических фактов, что большинство ученых не может принять эту гипотезу.

Прежде всего остается неясным, что же, собственно, движется?

Первоначально предполагалось, что перемещается земная кора материков по неподвижной мантии Земли. Однако теперь установлено, что источники тектонических и вулканических процессов, происходящих на поверхности Земли, расположены в верхней мантии. Следовательно, верхняя мантия составляет с земной корой единое целое и, если исследователь стоит на позиции перемещения материков, он должен допустить, что кора перемещается вместе с мантией, т. е. движутся слои толщиной значительно более 100 км. А куда же девается 100-километровый (как минимум) слой Земли перед фронтом движущегося мате-

рика и чем заполняется 100-километровый провал зади него?

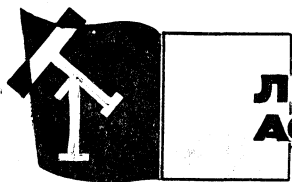
Попытки привлечь для объяснения этого противоречия гипотезу подкорковых течений нельзя считать убедительными, ибо такие течения возможны лишь в условиях повсеместного однородного вещества мантии, мы же сейчас знаем, что верхняя мантия неоднородна как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

По-видимому, в методике палеомагнитных исследований имеются какие-то систематические ошибки, которые и приводят к столь невероятным результатам.

Исследования по проекту «Верхняя мантия» продолжаются. Выбрано место на Кольском полуострове для бурения сверхглубокой скважины с целью вскрыть «базальтовый» слой земной коры. Начинаются работы по проведению трансконтинентальных профилей глубинного сейсмического зондирования (профиль Черное море — Белое море). Развертываются работы по изучению системы планетарных разломов Земли, так называемых рифтовых зон (например, система Байкальских впадин, рифты Восточной Африки). Начались работы по изучению электропроводности мантии. Все больше сведений поступает о тепловом потоке под океанами. В определении вероятной модели верхней мантии принимают участие математики.

Несомненно, в ближайшие годы науки о Земле раскроют многие тайны природы.

Н. А. РЕЗАНОВ,
кандидат геолого-минералогических наук



АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ЯНВАРЕ—ФЕВРАЛЕ 1968 ГОДА

ЗВЕЗДНОЕ НЕБО. Зимнее небо по праву считается самым красивым (рис. 1). В юго-восточной части небосвода поднимается созвездие Ориона, восточнее его видно созвездие Малого Пса с яркой звездой Проционом, а ниже, у горизонта, находится созвездие Большого Пса с Сириусом — самой яркой звездой неба. Выше Ориона видны созвездия Близнецов, Возничего и Тельца. Через все небо с запада на восток протянулась полоса Млечного Пути.

Высоко над горизонтом — созвездие Андромеды, а ниже — созвездия Треугольника, Овна, Рыб и Кита.

Рисунок в заголовке статьи воспроизводит изображение созвездия Андромеды на одной из старинных звездных карт. По греческому сказанию, Андромеда была дочерью эфиопского царя Цефея и его жены Кассиопеи. Однажды Кассиопея похвасталась, что она прекраснее морских нимф. Услышав это, нимфы сильно разгневались, и на царство Цефея был послан Кит, чтобы уничтожить страну. Оракул объявил Цефею, что бедствия можно предотвратить, если принести в жертву чудовищу единственную дочь царя — прекрасную Андромеду. На берегу синего моря приковали Андромеду цепями к белой скале. Но Андромеде не суждено было погибнуть — ее спас бесстрашный Персей. Именами героев этого мифа было названо несколько созвездий.

Самый интересный объект созвездия Андромеды — галактика М 31. Это единственная галактика, видимая невооруженным глазом на северном полушарии звездного неба. Туманность Андромеды легко найти, отыскивая на небе звезды β , μ , γ Андромеды (рис. 2, А, см. четвертую страницу обложки). При наблюдении невооруженным глазом М 31 на-



поминает светящееся облачко ($4^m,8$) размером около $15'$. В телескопы с небольшим увеличением можно рассмотреть довольно правильный эллипс со сгущением к центру. Крупные телескопы позволяют получить богатые деталями фотографии туманности Андромеды (рис. 2, Б).

Рядом с туманностью Андромеды можно рассмотреть в телескопы с диаметром не менее 50 мм (при увеличении в 50 раз) два наиболее ярких ее спутника — эллиптические галактики М 32 и NGC 205, видимые звездные величины которых около 9^m , а угловые размеры соответственно составляют $2',6 \times 2',1$ и $8',0 \times 3',0$. Фотография одной из этих галактик, полученная с 5-метровым телескопом, воспроизведена на рис. 2, В.

Из галактических объектов в созвездии Андромеды можно наблюдать в трубы с диаметром не менее 55 мм планетарную туманность NGC 7662

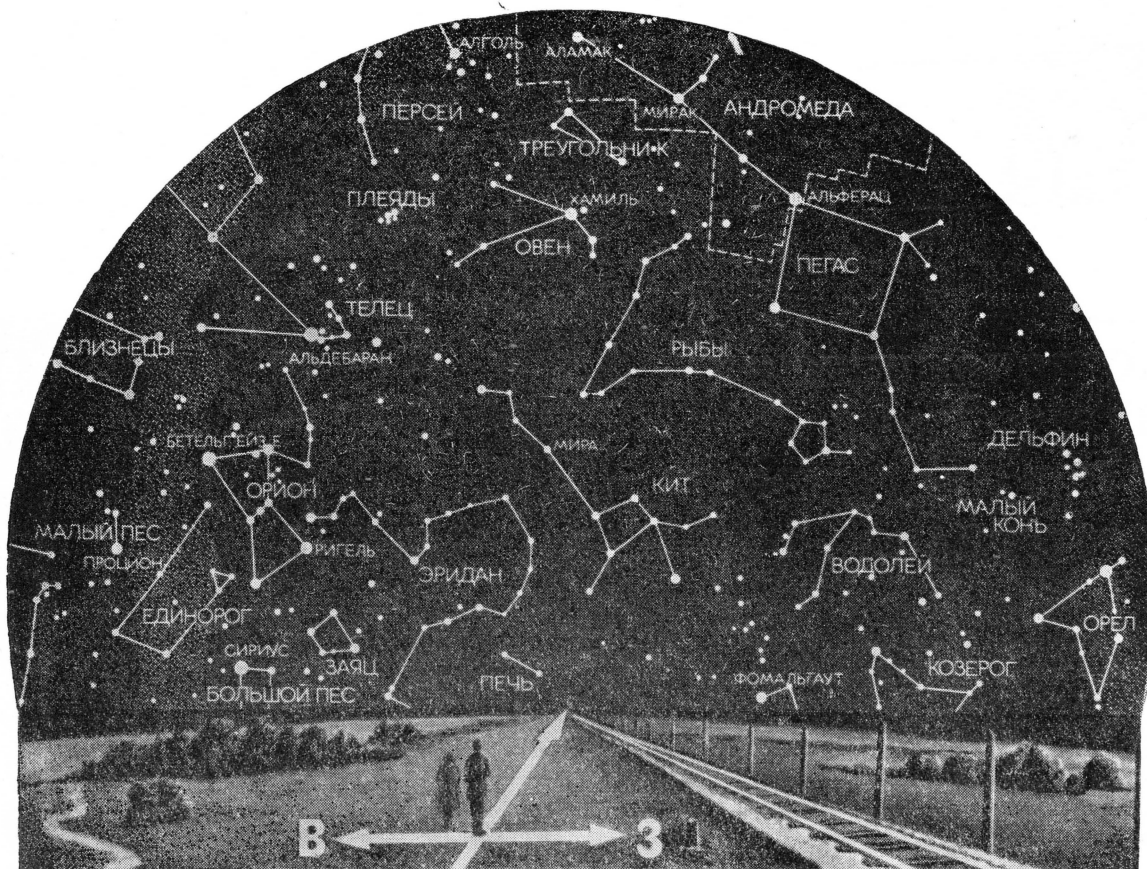


Рис. 1. Южная часть звездного неба 1 января в 19 часов 20 минут местного времени ($\varphi=56^\circ$)

($\alpha = 23^h 23^m, 5$; $\delta = 42^\circ 14'$), видимая звездная величина которой около 9^m (рис. 2, Г).

Из переменных звезд, доступных наблюдениям любителей-астрономов, интересна затменно-переменная звезда RT (координаты: $\alpha = 23^h 08^m, 9$; $\delta = 52^\circ 39' 4$, видимый блеск $8^m, 9-9^m, 9$; период изменения блеска 15 часов 05 минут). На рис. 2, Д приведена схема ее окрестностей и звезды сравнения.

Любопытна кратная звезда Аламак (γ Андромеды). Двойственность звезды хорошо заметна в небольшие трубы с 40-кратным увеличением, расстояние между компонентами около $10''$. Одна из звезд ($2^m, 3$) — желто-оранжевого цвета, а вторая ($5^m, 1$) — голубого. В более крупные телескопы видно, что второй компонент имеет спутник ($6^m, 6$).

Звезда π Андромеды также кратная система: яркий компонент ($4^m, 4$) — спектрально-двойная звезда, а более слабый компонент ($8^m, 5$) находится от главной звезды на угловом расстоянии $36''$.

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ. Меркурий во второй половине января и начале декабря можно

будет обнаружить вечером, на юго-западе, низко над горизонтом, в созвездии Козерога (1^m).

Венеру в начале января можно наблюдать в созвездии Весов как утреннюю звезду ($-3^m, 6$). К концу января планета переходит в созвездие Стрельца. В феврале время наблюдения планеты сокращается.

Марс виден вечерами в январе в созвездии Водолея, а со второй половины февраля — в созвездии Рыб. Видимая звездная величина планеты примерно $1^m, 5$.

Юпитер восходит в январе в первой половине ночи (созвездие Льва). Видимая звездная величина его — 2^m . Во второй половине февраля планету можно наблюдать всю ночь.

Сатурн весь период находится в созвездии Рыб и наблюдается в течение первой половины ночи, его видимая звездная величина $1^m, 1$.

Уран ($5^m, 5$) в начале января восходит около полуночи, а в феврале его можно наблюдать уже в первой половине ночи в созвездии Девы.

Нептун находится в созвездии Весов. Его можно увидеть утром, на юго-востоке, низко над горизонтом.

МЕТЕОРНЫЕ ПОТОКИ. 3—4 января —

максимум метеорного потока Квадрантид (координаты радианта: $\alpha=15^h26^m$, $\delta=+51^\circ$).

А. Д. МАРЛЕНСКИЙ,
доцент

В. Ф. ЗАБОЛОТНЫЙ

РАБОТА С САМОДЕЛЬНЫМ ТЕЛЕСКОПОМ

В помощь любителям, строящим самодельные телескопы.

Беседа 7 *

Мы изготовили и подобрали все детали телескопа-рефлектора (главное зеркало, вспомогательное плоское зеркало или призму, окулярный тубус, трубу) и собрали его (рис. 1). Теперь телескоп необходимо отъюстировать, т. е. добиться, чтобы оптические оси главного зеркала и окуляра совпали, причем призма или вспомогательное зеркало должны перехватывать весь конус лучей, отраженных главным зеркалом.

Достигают этого следующим образом. Не вставляя окуляра и стараясь держать глаз на некотором расстоянии от окулярного тубуса, смотрят через него на призму так, чтобы ближний и дальний по отношению к глазу края тубуса располагались концентрически. Передвигая или слегка наклоняя стойку призмы, помещают центр ее отражающей плоскости точно в центр тубуса (на его оси). Затем, меняя наклон

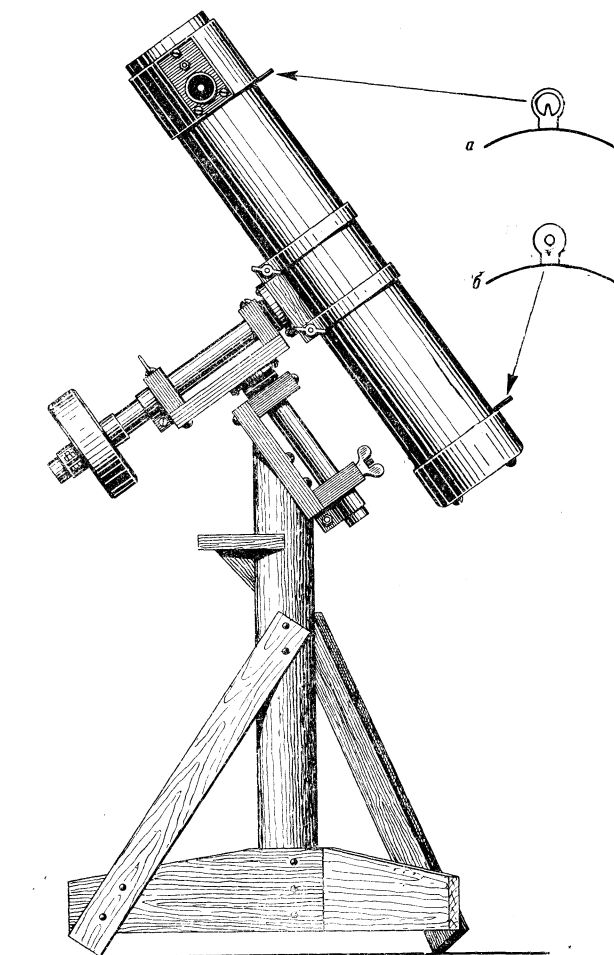


Рис. 1

* Окончание. Начало см. «Земля и Вселенная», № 4, 5, 1965 г.: № 1, 2, 5, 1966 г.; № 4, 1967 г.

призмы, добиваются, чтобы центр отражения главного зеркала был точно в середине и отражающей поверхности призмы и окулярного тубуса. (Для удобства юстировки можно наметить темной краской точку в центре главного зеркала.) Наконец, изменяя наклон главного зеркала тремя юстировочными винтами, на которых оно лежит, приводят отражение призмы в главное зеркало в центр всей наблюдаемой картины. Укажем, что при ввертывании какого-либо из юстировочных винтов изображение призмы перемещается по направлению к этому винту, при вывертывании — от него. Если телескоп отъюстирован точно, в центре отражения призмы будет еще видно отражение глаза наблюдателя. Неправильная (а) и правильная (б) юстировки телескопа показаны на рис. 2.

Поле зрения телескопа малое, поэтому, чтобы легче отыскать объект наблюдения, на трубу телескопа монтируют искатель. Простейшим искателем может служить приспособление, подобное мушке ружья (рис. 1, а), и визир — пластинка с отверстием (рис. 1, б). Прицел расположен так, что объект, пойманный на мушку, виден в центре поля зрения телескопа. Более совершенный искатель — зрительная труба с малым увеличением и большим полем зрения, снабженная окуляром с крестом нитей. Ее оптическая ось располагается параллельно оптической оси телескопа.

Теперь можно приступить к испытанию телескопа. Найдем высоко над горизонтом звезду 3—4-й звездной величины и постараемся навести окуляр (с большим увеличе-

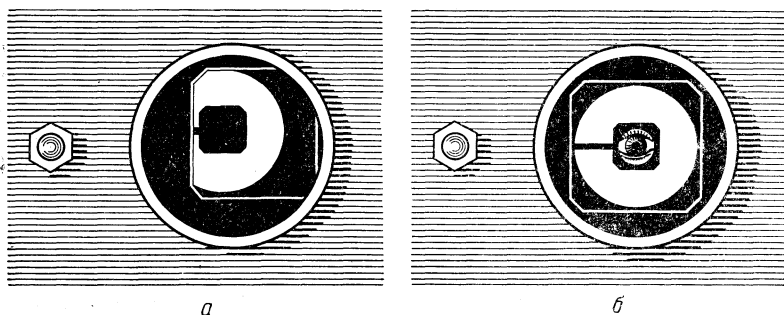


Рис. 2

нием) на предельную резкость. Заметим, что качество изображения определяется состоянием атмосферы и оптикой телескопа (предполагается, что телескоп тщательно отъюстирован).

При хороших оптических качествах телескопа и благоприятном состоянии атмосферы звезда видна как маленький резко очерченный диск, окруженный несколькими концентрическими светлыми колечками — дифракционными кольцами. Плохие атмосферные условия вызывают дрожание, изменение формы изображения звезды.

Когда же спокойное изображение звезды не удастся сделать резким и оно остается размытым кружком (либо имеет удлиненную или неправильную форму), оба зеркала (или одно из них) не удовлетворяют предъявляемым требованиям. Если при сдвигании окуляра с точной наводки на фокус вперед (предфокальное изображение) или назад (зафокальное изображение), видны не кружки, а овалы, которые вытянуты во взаимно перпендикулярных направлениях, это указывает на наличие астигматизма. В таком случае прежде всего надо попытаться изменить

наклон окулярного тубуса тремя регулировочными винтами, на которых он укреплен. Если астигматизм не исчезает, значит он присущ одному из зеркал. (Правильность юстировки должна быть предварительно проверена.) Поэтому одновременно с испытанием главного зеркала теневым прибором * необходимо, пользуясь сильным окуляром, проверить качество изображений искусственной звезды (фокального, предфокального и зафокального). Какие недостатки в качестве изображения зависят от состояния атмосферы, а какие от оптических свойств телескопа — можно установить только после проведения нескольких проверочных испытаний. Отметим, что очень хорошие оптические качества главного зеркала могут быть сведены на нет вспомогательным зеркалом, если отражающая поверхность его не точно плоская.

Выбор увеличения окуляров определяется атмосферными условиями. Обычно при неудовлетворительном состоянии атмосферы большие увеличения бесполезны.

* См. «Земля и Вселенная», № 2, 1966 г., стр. 70.

Считается, что максимальное увеличение, при котором полностью используется разрешающая сила главного зеркала (объектива), численно равно диаметру зеркала в миллиметрах, т. е. для зеркала диаметром 100 мм — увеличение в 100 раз и т. д. Применяя большие увеличения, если это позволяет яркость объекта, нельзя увидеть новых подробностей, хотя изображение и будет больше по размерам.

ЭКРАН ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА

Удобнее наблюдать Солнце, проектируя его изображение на экран, который устанавливают против окуляра (рис. 3). Рассеянный солнечный свет не мешает, так как изображение, не очень далекое от окуляра, получается достаточно ярким. Эффектно выглядят на экране последовательные моменты солнечного затмения. На краю диска Луны в это время заметны на фоне солнечной поверхности выступы лунных гор. Смотреть на Солнце в телескоп без защитных приспособлений недопустимо — можно потерять зрение. Применять темные стекла (на-

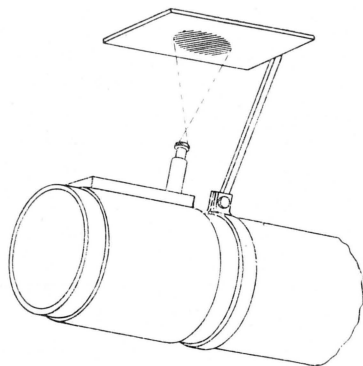
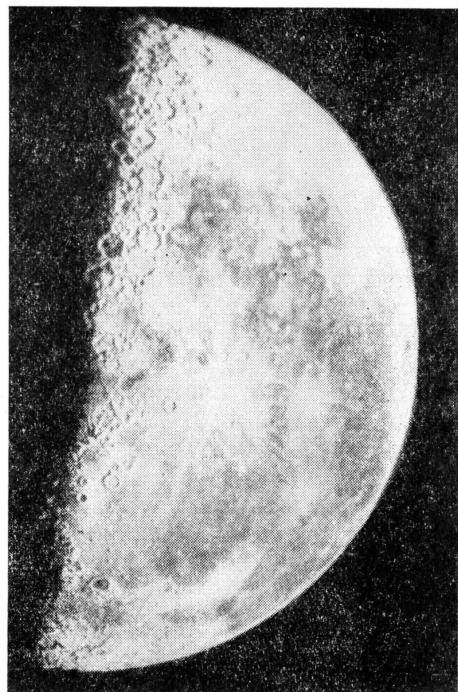


Рис. 3



Рис. 4



пример употребляемые при сварке) нужно также осторожно: в фокусе окуляра концентрируются и тепловые лучи, и нередко такое стекло при наблюдении Солнца лопается, отчего могут пострадать глаза наблюдателя. Лучший способ избежать этого — закрыть главное зеркало, оставив в середине отверстие, примерно, в $\frac{1}{3}$ диаметра самого зеркала.

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ НЕБЕСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Для фотографирования небесных объектов хорошо использовать зеркальную камеру, например «Зенит», укрепив ее при помощи переходной трубки на окулярном тубусе. Объектив фотоаппарата вывертывается. Переходная трубка должна иметь на одном конце резьбу, соответствующую резьбе объектива фотоаппарата. Этим

концом трубка ввертывается в фотоаппарат вместо объектива, другой конец трубки надевается на окулярный тубус, который для наводки на резкость в этом случае должен иметь кремальеру.

Фотографировать небесные объекты следует через окуляры со слабым увеличением. Луну можно фотографировать и без окулярного увеличения, в главном фокусе телескопа. Фотоаппарат устанавливают так, чтобы фокальная плоскость главного зеркала совпадала с поверхностью светочувствительного слоя пленки. Диаметр изображения Луны (или Солнца) будет в 114 раз меньше фокусного расстояния главного зеркала. Например, если оно равно 1500 мм, диаметр изображения Луны в главном фокусе составит 13,5 мм. На рис. 4 показаны полученные с помощью самодельных теле-

скопов фотографии Луны (А. Н. Подъяпольский, 20-сантиметровый рефлектор) и Венеры (С. Д. Чувахин, 12-сантиметровый рефлектор).

УХОД ЗА ТЕЛЕСКОПОМ

Телескоп необходимо тщательно предохранять от пыли и сырости. Поэтому прежде всего нужно сделать для него хороший чехол. Труба телескопа должна плотно закрываться крышкой. Желательно сделать отдельную крышку и для главного зеркала. Протирать зеркало ни в коем случае нельзя: можно повредить слой серебра или алюминия, которым оно покрыто. Пыль с него лучше всего сдувать резиновым баллончиком. Окуляры время от времени нужно протирать мягкой чистой тряпочкой из стиральной ткани или замшей. При сильном загрязнении их промывают чистым спиртом или ацетоном.

ПРОСТЕЙШАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

Простейшей школьной, лагерной или индивидуальной любительской обсерваторией (и, заметим, наиболее доступной в отношении постройки) может служить деревянный павильон с откидывающейся крышей, чертеж которого приведен на рис. 5. Стенка с дверью обращена на север, а стенка с откидывающимся треугольником наверху — на юг. Размеры, указанные на чертеже, разумеется, могут меняться в зависимости от габаритов телескопа. Обсерваторию всегда лучше сооружать на возвышении. Павильон, если есть такая возможность, хорошо поднять на столбах над поверхностью земли. Столб —

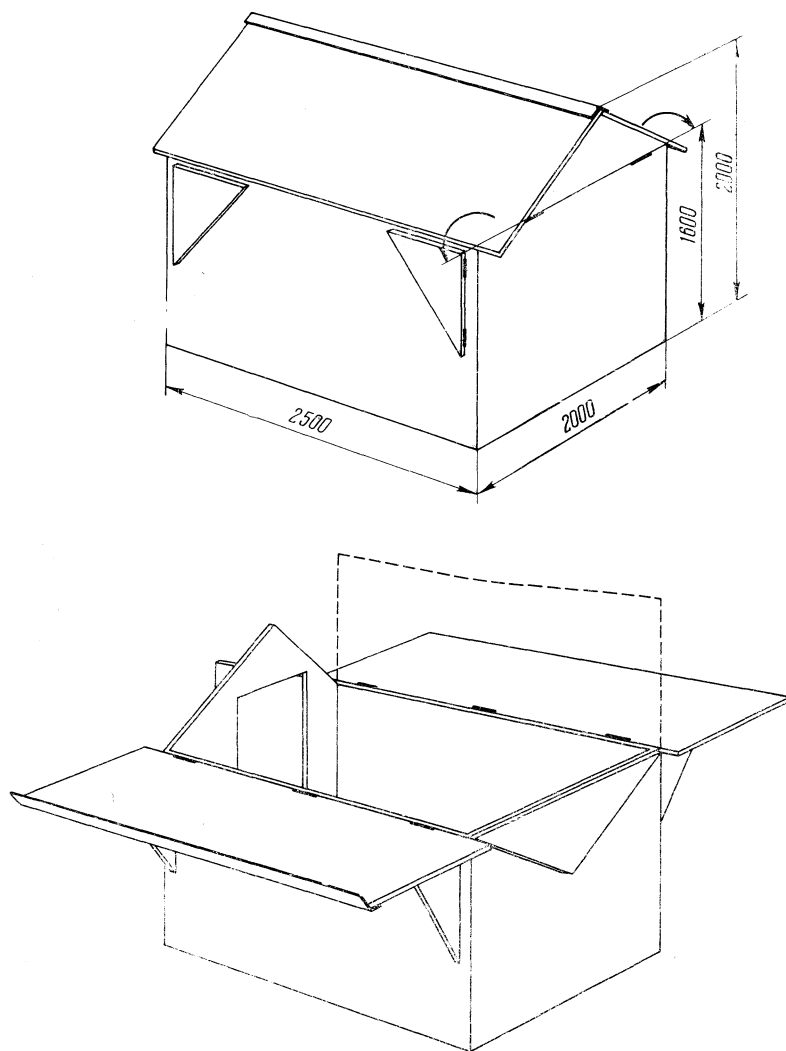


Рис. 5

основание для телескопа — также придется сделать более высоким и соответственно поднять пол павильона. Столб не должен соприкасаться с полом будки, чтобы ее дрожание не передавалось телескопу.

Что же можно увидеть в самодельный телескоп-рефлектор с диаметром главного зеркала 100—120 мм?

Если невооруженный глаз различает на Луне детали поперечником не менее

150 км, то в телескоп при увеличении в 100—150 раз видны многие подробности рельефа лунной поверхности: горные цепи, кратеры, трещины. В телескоп можно рассмотреть фазы Венеры, кольца Сатурна, полосы облаков на Юпитере и его четыре «галилеевых» спутника (затмения спутников, прохождения их по диску планеты и покрытия спутников планетой), полярную шапку и моря Марса, звездные скоп-

ления, туманности, двойные звезды. Одним словом, можно совершить увлекательные путешествия в Космос, увидеть воочию то, что раньше было знакомо только по иллюстрациям в книгах.

Домашняя обсерватория, оборудованная самодельным телескопом, может превратиться в маленькую народную обсерваторию (многим интересно посмотреть на Космос в телескоп, а любитель

с удовольствием поделится своими знаниями). На этой обсерватории можно организовать и показ небесных объектов по определенному плану в соответствии с условиями их видимости (фазы Луны и интересные образования на ней, фазы Венеры, двойные звезды, пятна на Солнце и др.).

Каждый любитель испытает, конечно, вполне законное чувство удовлетворения, со-

здав своими руками чудесный оптический прибор — телескоп, позволяющий проникнуть в тайны Вселенной. Пожелаем любителям в дальнейшем построить более сложные и мощные телескопы и, по мере возможностей, вносить свою лепту в астрономическую науку и участвовать в распространении научных знаний и в атеистической пропаганде.

М. М. ШЕЛЯКИН

ЛЮДИ НАУКИ

Александр Игнатьевич Лебединский

8 сентября 1967 г. в расцвете творческих сил скоропостижно скончался крупный советский ученый в области космофизики, астрофизики и геофизики, профессор кафедры космических лучей и физики космоса физического факультета Московского государственного университета, научный руководитель лаборатории излучений Института ядерной физики Александр Игнатьевич Лебединский.

А. И. Лебединский родился в 1913 г. В 1929 г. он окончил среднюю школу в Симферополе, а в 1932 г. — физико-математический факультет Крымского педагогического института. В 1935 г. после окончания аспирантуры в Ленинграде он был оставлен научным сотрудником астрономической обсерватории при Ленинградском государственном университете.

В 1937 г. Александр Игнатьевич защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Темой диссертации была проблема конвекции в атмосферах — важнейшая проблема физики атмосфер Земли и Солнца, в разработке которой А. И. Лебединский добился выдающихся результатов. Последующие исследования этой проблемы послужили основой его докторской диссертации.



Всю свою дальнейшую жизнь Александр Игнатьевич тесно связал с Ленинградским и Московским университетами. С 1938 г. он — доцент кафедры астрофизики механико-математического факультета ЛГУ. В 1941 г. А. И. Лебединский защищает докторскую диссертацию на тему «Конвекция в атмосферах», а с 1943 г. он —

профессор кафедры астрофизики Ленинградского университета. В 1953 г. Александр Игнатьевич по конкурсу избирается профессором физического факультета Московского университета и работает на геофизическом отделении до 1957 г.

1957 год — начало космической эры: в небо поднимается первый советский искусственный спутник Земли. Александр Игнатьевич с присущей ему широтой интересов и огромной эрудицией отчетливо представляет себе значение этого события для геофизики и астрономии. С этого времени основные его работы связаны с исследованиями при помощи искусственных космических тел. Последние годы Александр Игнатьевич работал на кафедре космических лучей и физики космоса отделения ядерной физики физического факультета МГУ.

Геофизика, астрономия, космическая физика — во многом связанные между собой науки, но каждая в отдельности — это обширная и важная область современного естествознания. В каждой из этих областей труды А. И. Лебединского составляют значительный вклад.

В геофизике А. И. Лебединский усовершенствовал теорию лучистого равновесия атмосферы Земли

и особенно успешно исследовал полярные сияния. В нашей стране до середины 40-х годов изучение полярных сияний проводилось в незначительном объеме. Огромная заслуга Александра Игнатьевича состоит в том, что он не только один из первых оценил большую роль и перспективность работ по физике полярных сияний, но и положил начало широким исследованиям в этой области. Начиная с 1948 г. Александр Игнатьевич организует несколько экспедиций в зону полярных сияний (район Мурманска). Последняя из этих экспедиций продолжалась более полугода и результатом ее была непрерывная регистрация полярных сияний в течение всей зимы. Камерами ежеминутно фотографировалось все небо; большим нововведением было патрулирование полярных сияний при помощи спектрографов в сочетании с регистрацией магнитного и электрического полей и радиошумов. Как известно, изучение полярных сияний явилось одним из основных разделов программы Международного геофизического года (МГГ). Опыт работы экспедиций, проведенных Александром Игнатьевичем, был использован при составлении программы для советских станций во время МГГ, что в немалой степени способствовало успеху Советского Союза в этом крупнейшем международном геофизическом и астрономическом общепланетарном исследовании. В 1954—1956 гг. А. И. Лебединский руководил подготовкой к фотографическим наблюдениям полярных сияний в МГГ и разработкой соответствующей аппаратуры, методики наблюдений и подготовки кадров для советских станций. Создание специальной сети наблюдений полярных сияний и светимости ночного неба в СССР явилось результатом активнейшего участия А. И. Лебединского в МГГ и МГСС. В содружестве с молодыми учеными он провел большую работу по обработке и публикации материалов наблюдений, в которой участвовало несколько научных учреждений нашей страны. А. И. Лебединский много сделал для международного престижа советской геофизики.

В научной деятельности Александра Игнатьевича редким образом сочетались неутомимость организатора больших коллективных научно-исследовательских работ, высокое искусство экспериментатора и талант теоретика. В частно-

сти, его перу принадлежит работа по теории полярных сияний, основанной на гипотезе электрического разряда в ионосфере.

В астрономии А. И. Лебединский, теоретически исследуя вращение Солнца, задолго до работ Л. Бирмана и Р. Киппенхана показал, что стационарное вращение при наличии турбулентного трения может быть твердотельным только в том случае, если свойства турбулентности не зависят от направления. Если же, из-за силы тяжести, вертикальное направление выделяется, т. е. турбулентность изотропна, то должно возникнуть дифференциальное вращение, а скорость должна расти к поверхности, и при определенных условиях,— к экватору, как наблюдается в солнечной атмосфере.

Природа вспышек новых звезд— сложная проблема, не решенная до сих пор. В серии работ Александр Игнатьевич рассмотрел один из возможных механизмов— возникновение теплового ядерного взрыва в некоторой оболочке в глубине звезды. Дело в том, что при некоторых условиях в звезде (когда в существенной ее части выгорел водород) может начаться гравитационное сжатие. При этом процесс теплоотвода может оказаться недостаточным, чтобы поддерживать температуру постоянной; рост температуры вызовет ускорение ядерных реакций, что приведет к взрыву. В этих работах было впервые показано, что новые звезды— это звезды-карлики с малой массой.

Важный цикл работ по магнитогидродинамике солнечной атмосферы был выполнен А. И. Лебединским вместе с Л. Э. Гуревичем. В 1946 г. до появления известной книги Х. Альвена, они рассмотрели взаимодействие движущегося газа со слабым начальным магнитным полем и качественно показали возможность усиления поля (теперь это называется динамо-эффектом). При этих расчетах учитывалась анизотропия проводимости в плазме с магнитным полем. В другой серии работ было показано, что движение в хромосфере и ее аномальная протяженность, сравнительно с гидростатическим равновесием при граничной температуре, могут быть объяснены волнами, идущими от движущихся гранул, и флуктуирующими неоднородностями магнитного поля, связанными с конвективными движениями. Это было сделано задолго до того, как наблюдения об-

наружили тонкую меняющуюся структуру магнитного поля Солнца и была установлена причинная связь между движениями под фотосферой и полем скоростей в хромосфере.

Интересные идеи были высказаны А. И. Лебединским в связи с изучением диффузных туманностей. Он показал, что в эмиссионных туманностях пыль должна испаряться, что туманности должны расширяться из-за высокого давления горячего газа, что увеличение числа горячих звезд приводит к рассеянию облаков и замедлению звездообразования, после чего облака вновь собираются и процесс повторяется. Эти работы непосредственно примыкают к работам А. И. Лебединского по звездной космогонии.

Проблемами космогонии А. И. Лебединский увлекся в конце 40-х годов и занимался ими до середины 50-х. Он активно и творчески участвовал в горячих дискуссиях, развернувшихся в те годы вокруг работ О. Ю. Шмидта по планетной космогонии и В. А. Амбарцумяна по звездной космогонии.

В 1950 г. была опубликована работа Александра Игнатьевича (в соавторстве с Л. Э. Гуревичем), которая явилась важным шагом в разработке идей О. Ю. Шмидта. В ней было показано, что рой тел, из которых в дальнейшем аккумуляровались планеты, мог образоваться в результате наступления гравитационной неустойчивости в утончающемся околосолнечном пылевом диске. При этом впервые было обращено внимание на непрозрачность этого диска, которая должна была привести к тому, что только его внутренняя зона могла прогреваться Солнцем. Внешняя часть диска оставалась очень холодной, и там на пылинках должны были намораживаться летучие вещества, что привело к различиям в массе и составе планет земной группы и планет-гигантов.

В области звездной космогонии А. И. Лебединский разрабатывал классическую концепцию формирования звезд путем уплотнения сгущений в межзвездных туманностях. Он считал, что при этом могут образовываться лишь звезды с массой, не превышающей 4—6 масс Солнца, тогда как более массивные звезды появляются в результате последующего приобретения вещества при прохождении сквозь газово-пылевые обла-

ка. Хотя это предположение А. И. Лебединского и не получило признания, многие стороны звездно-космогонических процессов им правильно подмечены и исследованы.

Рассматривая процесс звездообразования как часть круговорота вещества в Галактике, А. И. Лебединский уделял большое внимание процессу выброса газов звездами, связывая это с существованием переменных магнитных полей. Изучая конденсацию газа в пыль, происходящую в межзвездном пространстве, он впервые указал на то, что, когда на поверхности пылинки происходит интенсивное объединение атомов водорода в молекулы, то, как и при атомно-водородной сварке, пылинки должны нагреваться и разрушаться.

Известно, что множество звезд, составляющих Галактику, можно рассматривать как своего рода звездный газ. Проанализировав свойства плоского слоя такого газа, А. И. Лебединский показал, что он является неустойчивым и в нем должны образоваться звездные облака, что и наблюдается в действительности. Это обстоятельство является очень важным, так как приводит к быстрой эволюции формы всей Галактики в целом.

А. И. Лебединский вместе с руководителем отделения ядерной физики физического факультета МГУ членом-корреспондентом АН СССР С. Н. Верновым организовал на факультете специальность «физика космоса». Вначале Александр Игнатьевич совместно с С. Н. Верновым участвовал в изучении поясов радиации Земли. Последующие его работы связаны со спектроскопическими исследованиями Земли и планет космическими аппаратами. Особенно привлекают его Марс и Венера. Еще в середине 50-х годов А. И. Лебединский опубликовал

интересные теоретические исследования о физических условиях на Марсе. Он показал, что пары воды должны вымерзать в атмосфере Марса и что именно поэтому их не удастся там обнаружить. Александр Игнатьевич высказал интересную гипотезу о том, что на Марсе может быть много воды, но вся она скрыта в поверхностном слое в виде вечной мерзлоты. Это очень важный вопрос для проблемы о возможности существования жизни на Марсе, которой Александр Игнатьевич живо интересовался.

По идее и под непосредственным руководством А. И. Лебединского разрабатывались приборы, посылаемые затем в околоземное или более далекое космическое пространство: спектрофотометрические приборы, охватывающие почти весь диапазон теплового излучения планет; инфракрасный спектрофотометр, предназначенный для изучения химического состава планетных атмосфер и спектра Луны и, в частности, для измерения спектров поглощения органических веществ, возможно, являющихся индикаторами жизни на Марсе, и другие приборы. Наряду со спектрофотометрическими исследованиями Александр Игнатьевич принимал активное участие в обработке первых панорам лунной поверхности. Приборы профессора А. И. Лебединского работали на некоторых спутниках серии «Космос», на автоматической межпланетной станции «Зонд-3» и первом искусственном спутнике Луны — станции «Луна-10». Эти эксперименты дали десятки тысяч спектрограмм теплового излучения атмосферы Земли на разных широтах. Полученные спектры сопоставлены с теоретическими расчетами, сделанными на электронно-вычислительных машинах по данным аэрологических зондирований. По ультрафиолетовым спектрам построено планетарное рас-

пределение озона. Изучено свечение ночного неба. Впервые исследован спектр ультрафиолетовой и инфракрасной радиации, отраженной лунной поверхностью, определено ее альбедо. По ряду вопросов получены выводы фундаментального значения, доложенные на международных конференциях и заслужившие высокую оценку научной общественности.

Александр Игнатьевич — прекрасный лектор, руководитель аспирантов и дипломников — всегда был окружен учениками. Член редакционной коллегии журнала «Геомagnetизм и аэрономия», редактор издаваемого в Англии международного журнала по исследованию планет и космоса, член многих ученых советов, председатель секции полярных сияний и ночного неба Междудомственного геофизического комитета при Президиуме АН СССР, член общества «Знание» со дня его основания — таким был Александр Игнатьевич Лебединский. В 1967 г. он участвовал в работе двух международных конгрессов: в июле — в Лондоне, а в конце августа Александр Игнатьевич вернулся из Праги с конгресса Международного астрономического союза.

Смерть Александра Игнатьевича Лебединского — большая потеря для советской астрономии и геофизики. Все, кому посчастливилось работать с Александром Игнатьевичем, чувствовали его огромное обаяние и большую человечность, его искренность и благожелательность к людям. Ему удалось сделать многое, но многое осталось незавершенным. Продолжение и развитие этих работ учениками и сотрудниками Александра Игнатьевича Лебединского являются достойным его памяти вкладом в науку.

Группа товарищей

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, опубликованных в журнале «Земля и Вселенная» в 1967 г.

Александров Л. А. — Метеорологический эксперимент на спутнике «Космос-122»	2	ния солнечной короны и большой советский коронограф	6
Альперт Я. Л. — Низкочастотные волны около Земли и в Космосе	6	Опарин А. И. — Проблема происхождения жизни на Земле	2
Бабаджанов П. Б., Крамер Е. Н. — Мгновенные фотографии метеоров	1	Петрова Г. Н. — Связь сейсмических процессов с магнитным полем Земли	6
Белоусов В. В. — Глубинное строение и развитие Земли	1	Плахотник А. Ф. — Прекратить радиоактивное загрязнение Мирового океана	2
Бернштейн Л. Б. — Прилив покоряется	4	Пресс Ф. — Собственные колебания Земли	3
Благонаравов А. А., Верещетин Б. С. — Советский Союз и международное сотрудничество в мирном освоении Космоса	1	Райнес Ф. — Нейтринная астрономия	4
Бронштэн В. А. — Метеорный дождь Леонид	3	Ризниченко Ю. В. — Сейсмический климат и сейсмическая погода	6
Будыко М. И. — Главная геофизическая обсерватория и развитие отечественной метеорологии	5	Сабинин К. Д., Галкин О. П. — Внутренние волны и их проявление на поверхности моря	2
Грушинский Н. П. — Геофизические исследования Антарктиды	2	Садовский М. А. — Наука будет предсказывать землетрясения	6
10 лет советских космических исследований	5	Северный А. Б. — Оптические исследования Солнца в СССР	5
Ефремов Ю. Н. — Необыкновенные переменные звезды	2	Соболев В. В. — Физика звезд	6
Зайцев Ю. И. — Японские космические исследования	1	Соколов А. Г. — Конструкции современных радиотелескопов	3
Зверев М. С. — Новое в советской астрометрии за 50 лет	5	Сурков Ю. А. — Новое о лунном веществе	6
Изотов А. А. — Успехи изучения фигуры Земли в СССР	5	Сюняев Р. А. — Гелий-3 во Вселенной	1
Каманин Н. П. — Первый в мире орбитальный Кукаркин Б. В. — Достижения советской астрономии в исследовании переменных звезд	2	Харадзе Е. К. — Звездная астрономия	5
Куликовский П. Г. — Из истории советской астрономии (1917—1967). Хроника. Фотодокументы	3	Хромов С. П. — Погода завтра	3,4
	1,2,3,4,5,6	Шкловский И. С. — Проблема «мистериума»	1
Левин Б. Ю. — Новое о термических свойствах Луны	1	Шулейкин В. В. — Физика ветровых волн	5
Левин Б. Ю. — Вопросы планетной космогонии наших дней	6		
Леонов Ю. Г. — Сейсмотектонические процессы	6	люди науки	
Малеев Е. Ф. — Активный вулкан Карымский	3	Александр Игнатьевич Лебединский	6
Мандельштам С. Л. — Рентгеновское излучение Солнца	4	Ганьшин В. Н., Дорошевич М. В., Хренов Л. С. — Василий Васильевич Попов (К 80-летию со дня рождения)	1
Медведев С. В. — Землетрясения должны перестать быть стихийным бедствием	6	Зигель Ф. Ю. — Камилл Фламмарин (к 125-летию со дня рождения)	2
Михайлов А. А. — Астрономическая единица длины	2,3	Михайлов А. А. — Ф. А. Венинг Мейнес	2
Молэн П. А. — Рассказ охотника за тайфунами	1		
Монин А. С., Белоусов И. М. — Открытия в океанах	5	СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ	
Мячкин В. И. — О прогнозе времени возникновения землетрясений по сейсмическим данным	6	Воскобойников А. Э. — На философских рубежах астрономии	4
Науки о Земле и Вселенной к полувековому юбилею Октября	5	Ерпылев Н. П. — Юбилейная сессия Астрономического совета Академии наук СССР	5
Никольский Г. М. — Внезапные наблюдения		Комберг Б. В. — Семинар астрофизиков	3
		Кондратьев К. Я. — Спутники решают практические задачи	3
		Левитан Е. П. — Летняя школа астрофизиков в Шемахе	1
		Новиков И. Д. — Проблемы релятивистской астрофизики	4
		Петрушевский Б. А. — На Тихоокеанском конгрессе в Японии	4
		Пленум Центрального совета Всесоюзного астрономо-геодезического общества	4
		Радзиевский В. В., Демидович Е. Г. — Наблюдатели спутников в ГДР	2

Резанов И. А. — Международный проект «Верхняя мантия»	6
Силкин Б. И. — Участники Года спокойного Солнца подводят итоги	6

ПО ОБСЕРВАТОРИЯМ И ИНСТИТУТАМ

Дадаев А. Н. — Советское Пулковское	6
Хачикян Э. Е. — Астрофизическая обсерватория в Бюракане	2
Щеглов В. П. — Самаркандская обсерватория Улугбека	4

ЭКСПЕДИЦИИ

Никольский Г. М. — Кольцеобразное затмение Солнца 20 мая 1966 года	1
--	---

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Бронштэн В. А. — Успехи советской любительской астрономии	5
Куимов К. В. — XX Московская астрономическая олимпиада	1
Марленский А. Д. — Звездное небо и планеты в марте—апреле 1967 года	1
Марленский А. Д., Заболотный В. Ф. — Астрономические наблюдения в мае—июне 1967 года	2
Марленский А. Д., Заболотный В. Ф. — Астрономические наблюдения в июле—августе 1967 года	3
Марленский А. Д., Заболотный В. Ф. — Астрономические наблюдения в сентябре—октябре 1967 года	4
Марленский А. Д., Заболотный В. Ф. — Астрономические наблюдения в ноябре—декабре 1967 года	5
Марленский А. Д., Заболотный В. Ф. — Астрономические наблюдения в январе—феврале 1968 года	6
Мильхикер М. А. — Простой прибор для фотометрии лунного света	2
Подъяпольский А. Н. — Труба и установка самодельного телескопа	4
Шемакин М. М. — Работа с самодельным телескопом	6

ФАНАСТИКА

Эллиот Дж., Хойл Ф. — А-Андромеда	1
Уильямсон Я. — Химическое растение	3,4

НАРОДНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ И ПЛАНЕТАРИИ

Воробьев Г. Г., Шкров Г. — У чешских любителей астрономии	2
Копецкий М., Летфус В. — Народные обсерватории Чехословакии	2

КОСМИЧЕСКАЯ ФИЛАТЕЛИЯ

Гуревич Я. Б. — Международный год спокойного Солнца на марках	1
Орлов В. А. — Советские марки об исследованиях Антарктиды	4
Орлов В. А. — Первый советский искусственный спутник Земли на марках мира	5

КНИГИ О ЗЕМЛЕ И НЕБЕ [рецензии]

Бронштэн В. А., Шемакин М. М. — Об изготовлении самодельных рефлекторов с металлическим зеркалом	4
--	---

Горшков С. П. — «Мы живем в ледниковый период?»	1
Зоткин И. Т. — Любопытным о проблеме Тунгусского метеорита	2
Петрушевский Б. А. — «Когда сотрясается Земля»	3
Псковский Ю. П. — «Атлас обратной стороны Луны. Часть II»	5
Фесенков В. Г., Мухин Л. М. — «Жизнь вне Земли»	4
Хвостиков И. А. — Двойной юбилей	4

АСТРОНОМЫ УЛЫБАЮТСЯ

Маленький астроном	4
«Ровесники»	3

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Активное воздействие на ураганы	2
Возможные цвета деталей лунного рельефа	1
Вспышка квазара 3С 446	1
Вспышка Сверхновой в далекой галактике	3
Геофизический симпозиум в Киеве	1
Загадка Юпитера остается неразгаданной	1
Запоздалое открытие	3
Инфракрасные изображения Луны	6
Источник рентгеновского излучения в Скорпионе	2
Итоги первой заочной читательской конференции	3
Квазар 3С 345	3
К итогам научных исследований станции «Луна-10»	1
Климат планеты в далеком будущем и в ближайшую тысячу лет	4
Книга о космических полетах	1
Когда вспыхнула Сверхновая?	5
Когда началось оледенение Антарктиды?	2
Кой-Крылган-Кала — обсерватория Древнего Хорезма	4
Комета... под землей!	6
Лазер и метеорная опасность	5
Лазеры в геодезической съемке	1
Магнитное поле планеты Меркурий	1
Максимум солнечной активности ожидается в середине 1968 г.	2
Марганцевая «мостовая» на дне Атлантики	3
Метеорит в северной Аргентине	1
Метеорит Мундрабилла	5
Метеоритный кратер в Осетии?	3
Метеорит падает на город	1
Модель атмосферы Юпитера	6
Неоднородности на поверхности Марса	1
Новая выдающаяся победа советской науки и техники	6
Новая лодка Пиккара	1
Новая машина для прогноза погоды	3
Новая фотографическая карта видимого полушария Луны	3
Новое о холодных звездах	2
Новое о цефеидах	5
Новый вклад в дело международного сотрудничества	2
Новый метод наблюдения турбулентности воздуха	2
Новый прорыв побочных кратеров на склоне Ключевского вулкана	3
Новый фотоаппарат для глубинной съемки	3
Общая масса атмосферы Земли	1

«Окаменелый магнетизм» и гипотезы дрейфа континентов и расширения Земли	3	Скорость приливного течения подо льдом	4
Остаток Сверхновой в Скорпионе	1	Советские ученые — почетные члены Индийского геофизического союза	3
Открытие десятого спутника Сатурна	2	Солнечная активность и биосфера Земли	1
Оригинальное исследовательское судно «ФЛИП»	2	Солнечное затмение редкого вида	4
Первый рейс научно-исследовательского судна «Академик Курчатов»	6	42-й рейс «Витязя»	6
Переменная звезда с самым коротким периодом	5	Наз-спикулы на высоте 6000 км над поверхностью Солнца	1
Персеиды тяжелее Геминид	3	Спутники служат навигации	3
Повторная вспышка Новой в созвездии Персея	1	Срочные оповещения о землетрясениях в США	2
Поглощение света в верхних слоях атмосферы	5	Существуют ли «радиозвезды»?	6
Подводный метеоритный кратер	6	Талассоиды — новые образования на Луне	2
Поиски «сфер Дайсона»	1	Термолюминесценция Луны	5
Полное лунное затмение	1	Топографический план места посадки «Луны-9»	6
Помощь судоводителю	2	XIII генеральная ассамблея Международного астрономического союза	6
План работ XII Советской антарктической экспедиции	2	Точные размеры нашей планеты	1
Попытка сбора космических частиц во время метеорного дождя Леонид	5	Углекислый газ в атмосфере Марса	3
Проект Всемирной системы гидрологической информации	1	Ураган «Инес»	2
Радиоастрономы исследуют звездные ассоциации	1	Физические свойства поверхности Марса	3
Радиоизлучение Венеры и солнечная активность	1	Фотография десятого спутника Сатурна	3
Радиолокация Солнца на волне 7,9 м	5	Флуктуации в люминесценции Меркурия	2
Рождение другой «солнечной системы»	2	Французский астроном в СССР	1
Самый толстый слой вечной мерзлоты	5	Экспедиция в Индийский океан «Академика Курчатова» и «Витязя»	6
Серебристые облака в Антарктике	2	Экспедиция для изучения космических лучей	2
		Эксперименты, выполненные станциями «Венера-2» и «Венера-3» на пути к Венере	5

ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ, ЛЮБИТЕЛИ АСТРОНОМИИ!

Редакция «Земли и Вселенной» приглашает вас принять участие в работе журнала. Пишите нам о вашей работе в астрономических кружках и обществах юных любителей астрономии. Присылайте сделанные вами фотографии небесных светил и явлений, астрономических приборов, построенных вами, обсерваторий, выставок, астрономических площадок. Наиболее интересные снимки будут опубликованы.

Орган секции физико-технических и математических наук
Президиума Академии наук СССР
и Всесоюзного астрономо-геодезического общества

Научно-популярный журнал
«ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Редакционная коллегия:



Адрес редакции:
Москва В-333,
Ленинский пр., 61/1
Тел. АВ 7-78-14
АВ 7-67-09

Главный редактор доктор физ.-мат. наук Д. Я. МАРТЫНОВ
Зам. главного редактора доктор физ.-мат. наук И. А. ХВОСТИКОВ
Ответственный секретарь кандидат пед. наук Е. П. ЛЕВИТАН

Художественный редактор
Л. Я. Шимкина

Кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, доктор техн. наук
А. А. ИЗOTOB, кандидат физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, кандидат
физ.-мат. наук М. Г. КРОШКИН, доктор физ.-мат. наук Р. В. КУ-
НИЦКИЙ, доктор физ.-мат. наук Б. Ю. ЛЕВИН, кандидат физ.-мат.
наук Г. А. ЛЕЙКИН, академик А. А. МИХАЙЛОВ, кандидат
физ.-мат. наук И. Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук К. Ф. ОГО-
РОДНИКОВ, доктор геол.-мин. наук Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ,
доктор физ.-мат. наук В. В. РАДЗИЕВСКИЙ, доктор физ.-мат.
наук Ю. А. РЯБОВ, доктор техн. наук К. П. ФЕОКТИСТОВ,
академик В. Г. ФЕСЕНКОВ

Корректоры: А. М. Балунова,
Г. Н. Нелидова

2-я типография издательства «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

T-15530 Подписано к печати 6/XII 1967 г.
Сдано в набор 14/IX 1967 г.
Формат бум. 84 × 108/16 Бум. л. 3,0
Печ. л. 6,0 (10,08). Уч.-изд. л. 9,9
Тираж 42.000 экз. Заказ 3430

XIII Генеральная ассамблея Международного астрономического союза

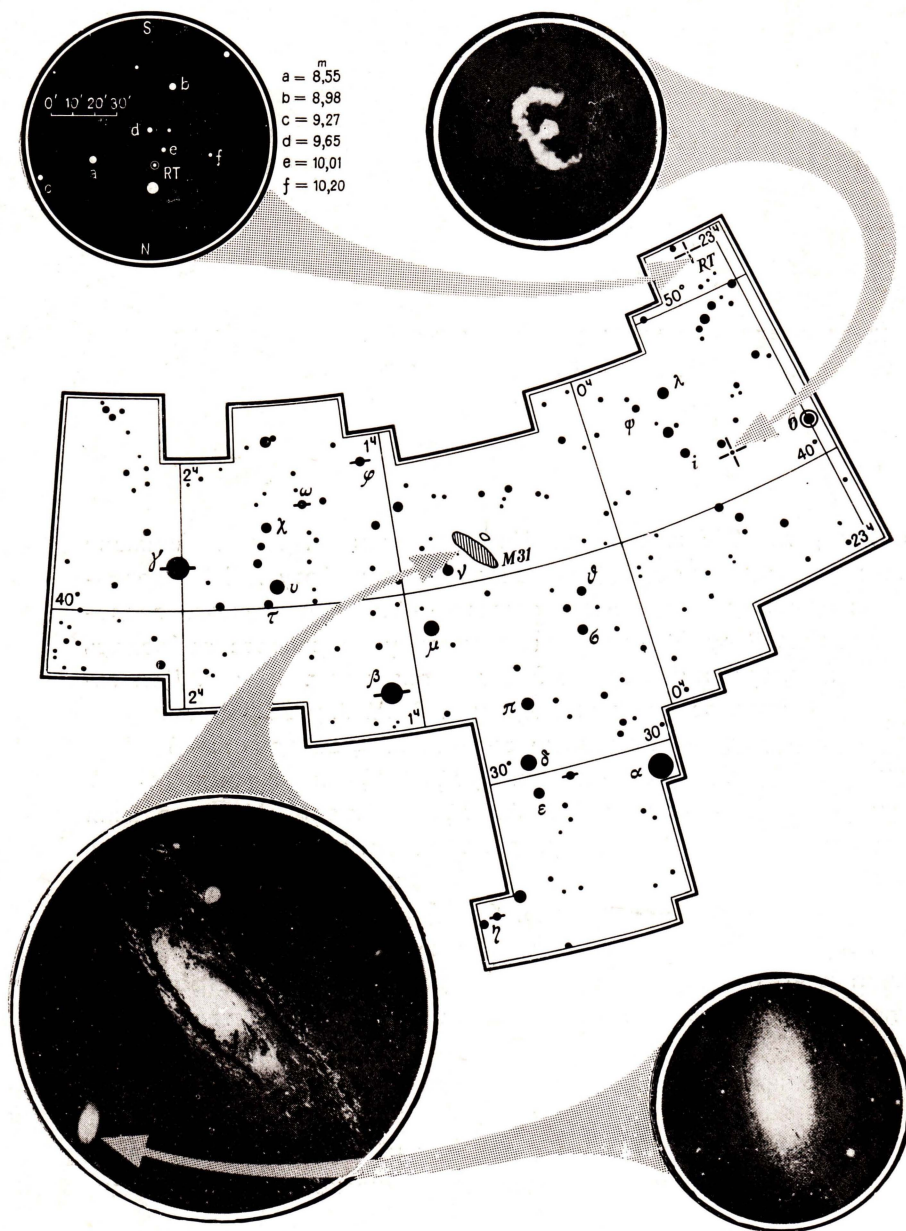
В конце августа 1967 г. столица Чехословакии — Прага принимала гостей из многих стран мира. Здесь начала свою работу XIII Генеральная ассамблея одного из старейших союзов — Международного астрономического союза. В аудиториях Карловского университета собралось свыше 2800 ученых, среди них около 300 советских астрономов. Делегацию Советского Союза возглавлял академик В. А. Амбарцумян.

В программе съезда — пленарные заседания и заседания 46 научных комиссий, лекции, объединенные дискуссии. С обзорными лекциями выступили крупнейшие ученые: А. А. Михайлов «Исследования Луны», П. Леду «Внешние слои и внутренняя структура звезд», М. Райл «Квазизвездные радиоисточники», А. Сендидж «Новые наблюдательные данные о расширении Вселенной». Объединенные дискуссии были посвящены современным проблемам фундаментальной астрометрии, новой технике в космической астрономии, рентгеновской астрономии, проблеме лития, квазизвездным источникам и эволюции тесных пар двойных звезд.

Советские ученые избраны в руководящие органы съезда и его комиссий.

Наиболее интересные материалы, связанные с работой XIII Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза, будут опубликованы в журнале «Земля и Вселенная» в 1968 г.

Созвездие Андромеды



Цена 30 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО



«НАУКА»

Индекс 70336